
Estudi de la viabilitat energètica de sistemes de propulsius marins alternatius als convencionals

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:

Jordi Canyet i Quintana

Dirigit per:

Santiago Ordás Jimenez

Doble titulació de Grau en Tecnologies Marines i Grau en Enginyeria en
Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, 2 de maig del 2020

Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques

Agraïments

M'agradaria començar donant les gràcies a Déu en tot lloc i en tot moment perquè ha sigut font d'inspiració i d'obtenció de forces per assolir un dels meus objectius formatius més complexos plantejats a la vida i és la finalització de la doble titulació en el Grau de Tecnologies Marines i Enginyeria en Sistemes i Tecnologies Navals.

En segon lloc, no podria estar més agraït a la meva mare i el meu germà pels grans esforços que han realitzat tots aquests anys per a que pogués estudiar i finalitzar la doble titulació, tant pels suports i els ànims, com també els grans esforços econòmics que suposa estudiar en una universitat pública de Catalunya.

Tanmateix no vull perdre la oportunitat de fer una especial menció al professor de seguiment del treball de final de grau, el senyor Santiago Ordás Jimenez, per la seva disposició, la seva flexibilitat i adaptabilitat als meus temps. Mencionar que va ser el mateix professor qui em va envalentir a prendre la decisió d'estudiar la doble titulació, quan prèviament cursava el Grau en Enginyeria Marina i estic molt orgullós d'haver-ho fet.

No vull oblidar-me d'agrair els professors, tant els catedràtics com els associats, que han estat durant aquests sis anys de formació compartint els seus coneixements i resolent dubtes. Convertint la Facultat de Nàutica de Barcelona (UPC) en una de les referents a nivell estatal. Donant testimoni de la seva gran entrega i professionalitat, així com destacar la vessant més humana dels mateixos.

Resum

En aquest treball s'hi pot trobar l'estudi i anàlisi dels pros i contres dels diferents sistemes de propulsió denominats convencionals i altres sistemes menys habituals que es poden trobar en la marina mercant. Tanmateix l'autor dóna una visió clara de la situació actual que viu la marina mercant i posa especial èmfasi en la necessitat existent i latent que viu la indústria naval, fent menció de les normatives en clau de reducció d'emissions i en l'eficiència energètica del vaixell.

L'autor mostra la incertesa que envolta el futur del sector mentre que en contraposició analitza les possibles energies del futur que aparentment semblen llunyanes, que no pas en el futur més pròxim. Les energies que s'estudien es basen en els possibles combustibles, com poden ser l'hidrogen, l'amoníac, biocombustibles, entre altres. Com també s'analitzen altres tipus de tecnologies com bateries, piles de combustibles, propulsor magnetohidrodinàmic o energies renovables.

En la part central de l'estudi també engloba els mètodes de reduccions d'emissions i les mesures d'eficiència energètica, que aquestes mesures serviran per a realitzar un estudi d'eficiència energètica sobre un vaixell cisterna o químic.

Per concloure l'estudi l'autor a partir de diverses fonts dóna una perspectiva sobre una visió del futur en la propulsió marina desglossant-la en diferents factors condicionants.

Abstract

In this document you will be able to find the study and analysis of the pros and cons of the different so-called conventional propulsion systems and other less common systems that can be found in shipping. However, the author gives a clear view of the current situation of the shipping business and places special emphasis on the existing and latent need of the shipbuilding industry, making a point to the different regulations in terms of reducing emissions and efficiency energy of the ship.

The author shows the uncertainty that surrounds the future of the sector while in contrast it analyses the possible energies that seems future far away technologies. The energies studied are based on possible fuels, such as hydrogen, ammonia, and biofuels, among others. As well as other types of technologies such as batteries, fuel cells, magneto-hydrodynamic propulsion or renewable energy.

The central part of the study also includes emission reduction methods and energy efficiency measures, which will be used to do an exhaustive energy efficiency study on Chemical/Products Tanker ship.

To conclude the study, the author gives a perspective of the future in marine propulsion, based on different sources, segmenting this chapter into different conditioning factors.

Taula de continguts

AGRAÏMENTS	V
RESUM	VII
ABSTRACT	VIII
TAULA DE CONTINGUTS	IX
LLISTAT DE FIGURES	XV
LLISTAT DE TAULES	XVII
LLISTAT D'ABREVIATURES	XIX
 CAPÍTOL 0. INTRODUCCIÓ	 1
 CAPÍTOL 1. SISTEMES DE PROPULSIÓ: DENOMINATS CONVENCIONALS	 3
 1.1 1.1 MOTOR DIÈSEL	 3
1.1.1 HISTÒRIA	3
1.1.2 PRINCIPI	4
1.1.3 COMBUSTIBLES	8
1.1.4 AVANTATGES	9
1.1.5 INCONVENIENTS	9
1.2 GAS NATURAL LIQUAT	10
1.2.1 HISTÒRIA	10
1.2.2 PRINCIPI	10
1.2.3 COMBUSTIBLES	12
1.2.4 AVANTATGES	12
1.2.5 INCONVENIENTS	13
1.3 TURBINA DE GAS	13
1.3.1 HISTÒRIA	13
1.3.2 PRINCIPI	14
1.3.3 COMBUSTIBLES	14
1.3.4 AVANTATGES	15
1.3.5 INCONVENIENTS	15
1.4 PROPULSIÓ DIÈSEL ELÈCTRIC	15
1.4.1 PREFACI	15
1.4.2 HISTÒRIA	16
1.4.3 PRINCIPI	16
1.4.4 COMBUSTIBLES	19
1.4.5 AVANTATGES	19

1.4.6	INCONVENIENTS	20
-------	---------------	----

CAPÍTOL 2. SISTEMES DE PROPULSIÓ: DENOMINATS MENYS HABITUALS	21
---	-----------

2.1	PROPULSIÓ NUCLEAR	21
2.1.1	HISTÒRIA	21
2.1.2	PRINCIPI	22
2.1.3	COMBUSTIBLES	23
2.1.4	AVANTATGES	24
2.1.5	INCONVENIENTS	24
2.2	TURBINA DE VAPOR	25
2.2.1	PREFACI	25
2.2.2	HISTÒRIA	25
2.2.3	PRINCIPI	26
2.2.4	COMBUSTIBLES	28
2.2.5	AVANTATGES	28
2.2.6	INCONVENIENTS	28
2.3	COMBINACIÓ DE SISTEMES PROPULSIUS	29
2.3.1	HISTÒRIA	29
2.3.2	PRINCIPI	29

CAPÍTOL 3. MARINA MERCANT: SITUACIÓ ACTUAL	31
---	-----------

CAPÍTOL 4. ENERGIES PROPULSIVES: NECESSITAT D'UN CANVI	35
---	-----------

4.1	COMBUSTIBLES FÒSSILS	35
4.2	NORMATIVES D'EMISSIONS	38
4.2.1	INTRODUCCIÓ	38
4.2.2	TIPUS D'EMISSIONS	39
4.2.3	NORMATIVES ASSOCIADES A LES EMISSIONS	42
4.3	NORMATIVES D'EFICIÈNCIA ENERGÈTICA	48
4.3.1	PREFACI	48
4.3.2	ÍNDIX DE DISSENY D'EFICIÈNCIA ENERGÈTICA (EEDI)	50
4.3.3	PLA DE GESTIÓ DE L'EFICIÈNCIA ENERGÈTICA DEL VAIXEL	51
4.3.4	INDICADOR OPERACIONAL DE L'EFICIÈNCIA ENERGÈTICA	54

CAPÍTOL 5. ENERGIES ALTERNATIVES A LES CONVENCIONALS	55
---	-----------

5.1	ENERGIES RENOVABLES	55
5.1.1	PREFACI	55
5.1.2	PRINCIPI	55
5.1.3	COMBUSTIBLES	56

5.1.4	AVANTATGES	57
5.1.5	INCONVENIENTS	57
5.2	BIOCOMBUSTIBLES	57
5.2.1	HISTÒRIA	57
5.2.2	PRINCIPI	57
5.2.3	COMBUSTIBLES	58
5.2.4	AVANTATGES	59
5.2.5	INCONVENIENTS	59
5.3	PILES DE COMBUSTIBLE	60
5.3.1	PRINCIPI	60
5.3.2	COMBUSTIBLES	61
5.3.3	AVANTATGES	62
5.3.4	INCONVENIENTS	63
5.4	BATERIES	63
5.4.1	PRINCIPI	63
5.4.2	COMBUSTIBLES	64
5.4.3	AVANTATGES	64
5.4.4	INCONVENIENTS	65
5.5	HIDROGEN	65
5.5.1	PREFACI	65
5.5.2	OBTENCIÓ DE L'HIDROGEN	66
5.5.3	PRINCIPI	67
5.5.4	COMBUSTIBLES	68
5.5.5	AVANTATGES	69
5.5.6	INCONVENIENTS	69
5.6	AMONÍAC (NH₃)	70
5.6.1	PRINCIPI	70
5.6.2	COMBUSTIBLES	71
5.6.3	AVANTATGES	71
5.6.4	INCONVENIENTS	71
5.7	NITROGEN LÍQUID I AIRE COMPRIMIT	72
5.7.1	PRINCIPI	72
5.7.2	COMBUSTIBLES	72
5.7.3	AVANTATGES	73
5.7.4	INCONVENIENTS	73
5.8	PROPULSOR MAGNETOHIDRODINÀMIC	74
5.8.1	PRINCIPI	74
5.8.2	COMBUSTIBLES	75
5.8.3	AVANTATGES	75
5.8.4	INCONVENIENTS	75

CAPÍTOL 6. REDUCCIONS D'EMISSIONS: MÈTODES PER A LA MILLORA **77**

6.1	TECNOLOGIES DE REDUCCIÓ DE CO₂	77
6.1.1	SISTEMES OXICOMBUSTIBLES	77
6.1.2	SISTEMES ACTUEN ABANS DE LA COMBUSTIÓ	77
6.1.3	SISTEMES ACTUEN DESPRÉS DE LA COMBUSTIÓ	78
6.2	TECNOLOGIES DE REDUCCIÓ DE NO_x	80
6.2.1	PRETRACTAMENT	80
6.2.2	ALTRES TIPUS DE MÈTODES AMB CONJUNCIÓ DE MÈTODES PRETRACTAMENT	81
6.2.1	POST-TRACTAMENT	82
6.3	TECNOLOGIES DE REDUCCIÓ DE SO_x	83
6.3.1	COMBUSTIBLE EN BAIX CONTINGUT EN SOFRE	83
6.3.2	RENTAT DE GASOS D'ESCAPAMENT - SCRUBBER	83

CAPÍTOL 7. EFICIÈNCIA ENERGÈTICA: MÈTODES PER A LA MILLORA **85**

7.1	PREFACI	85
7.2	CASC	88
7.2.1	OPTIMITZACIÓ DE LA PROA	88
7.2.2	REVESTIMENT DEL BUC	89
7.2.3	LUBRICACIÓ PER AIRE	89
7.3	MOTORS AUXILIARS	90
7.3.1	MILLORA DELS CONDUCTES COMUNS (COMMON-RAIL)	90
7.4	MOTOR PRINCIPAL	91
7.4.1	ENERGIA EÒLICA	91
7.4.2	ENERGIA SOLAR	95
7.4.3	MODIFICACIÓ DE LA VELOCITAT DE DISSENY	96
7.4.4	MILLORA DELS CONDUCTES COMUNS (COMMON-RAIL)	96
7.5	SISTEMES DE CONTROL	97
7.5.1	RECUPERACIÓ DEL CALOR RESIDUAL	97
7.6	TIMÓ I PROPULSOR	99
7.6.1	BULB EN EL TIMÓ	99
7.6.2	COL·LOCAR ALETES EN L'HÈLIX	99
7.6.3	HÈLIX CANALITZADA	100
7.6.4	HÈLIX CONTRA-ROTANT	101
7.6.5	HÈLIX DE ROTACIÓ LLIURE	102
7.6.6	SISTEMA PROMAS LITE (ROLLS ROYCE) - ENERGOPAC (WÄRTSILÄ)	103
7.6.7	TIMÓ NO RÍGID O FLEXIBLE	105

CAPÍTOL 8. APLICACIÓ PRÀCTICA EN VAIXELL **107**

8.1	CAS PRÀCTIC A ESTUDIAR	107
------------	-------------------------------	------------

8.1.1	JUSTIFICACIÓ	107
8.1.2	ESPECIFICACIÓ TÈCNICA DEL VAIXELL	109
8.2	ESTUDI DE L'EFICIÈNCIA ENERGÈTICA DEL VAIXELL	110
8.2.1	ESTUDI AMB UNA VISIÓ OPTIMISTA	110
8.2.2	ESTUDI AMB UNA VISIÓ PESSIMISTA	112
CAPÍTOL 9. LA PROPULSIÓ EN CLAU DE FUTUR		115
<hr/>		
9.1	PREFACI	115
9.2	TRANSPORT DE MERCADERIES	115
9.3	FUTURES NORMATIVES	116
9.4	CONSUM DE COMBUSTIBLE	117
9.5	SISTEMA DE PROPULSIÓ	118
9.5.1	VISIÓ A CURT TERMINI	118
9.5.2	VISIÓ ENTRE MIG I LLARG TERMINI	118
9.6	OPINIONS D'EXPERTS EN EL SECTOR NAVAL	119
CAPÍTOL 10. CONCLUSIONS		121
<hr/>		
BIBLIOGRAFIA		123
<hr/>		
ANNEX 1. INFORMACIÓ DETALLADA DE COMBUSTIBLES MARINS		127
<hr/>		
ANNEX 2. COMBINACIÓ DE SISTEMES PROPULSIUS		129
<hr/>		
ANNEX 3. EXEMPLE D'UN SEEMP		135
<hr/>		

Llistat de Figures

La font d'on ha sigut extreta la figura la podeu veure entre parèntesis

Figura 1. Primer temps del cicle d'un motor 2T (Apunts de Motors de Combustió Interna 280655)	4
Figura 2. Segon temps del cicle d'un motor 2T (Apunts de Motors de Combustió Interna 280655)	5
Figura 3. Primer temps del cicle d'un motor 4T (Apunts de Motors de Combustió Interna 280655)	5
Figura 4. Segon temps del cicle d'un motor 4T (Apunts de Motors de Combustió Interna 280655)	6
Figura 5. Tercer temps del cicle d'un motor 4T (Apunts de Motors de Combustió Interna 280655)	6
Figura 6. Quart temps del cicle d'un motor 4T (Apunts de Motors de Combustió Interna 280655)	6
Figura 7. Motor dièsel (Team BHP)	7
Figura 8. Sistema de propulsió LNG (Zeppelin Power Systems)	10
Figura 9. Principi dels motors Dual-Fuel (Target Global Energy Training)	11
Figura 10. Principi dels motors de Barreja Pobre (Inyección directa de gasolina con Bosch Motronic MED 7)	12
Figura 11. SGT-100 Turbina de Gas (Siemens)	14
Figura 12. Sistema de propulsió POD (ABB - Azipod XO2100 and XO2300)	16
Figura 13. Sistema de Propulsor Tipus Azimutal (ABB - Azipod XO2100 and XO2300)	17
Figura 14. Propulsor azimutal de transmissió mecànica (Pod device development for small scale propeller model tests)	17
Figura 15. Propulsor azimutal de transmissió elèctrica (Azipod for Main Propulsion and Thrusters)	18
Figura 16. Propulsió Dièsel Elèctric Tipus Híbrid (Berger Maritiem)	18
Figura 17. Sistema de propulsió nuclear (Design and Comparative Analysis of Small Modular Reactors for Nuclear Marine Propulsion of a Ship)	22
Figura 18. Turbina primer vaixell propulsat amb turbina de vapor (CTG Publishing)	26
Figura 19. Sistema de propulsió amb turbines de vapor (Options and Evaluations on Prop. of LNG Carr. - Modificada)	26
Figura 20. Operació del rotor d'una turbina de vapor (123rf)	27
Figura 21. Gràfic: Bilions de tones de carga/Any (Royal Academy Engineering)	31
Figura 22. Gràfic: Consum de combustible segons la tipologia, any 2012 (IMO 3rd GHG Study and BP Statistical Review of World Energy)	32
Figura 23. Gràfic: Preu històric del fuel marí IFO 380 CST (Royal Academy of Engineering - Platts)	36
Figura 24. Gràfic: Preu actual del fuel marí IFO 380 (World Bunker Prices)	36
Figura 25. Consum de Fuel segons el tipus de vaixell (IMO 3rd GHG Study and BP Statistical Review of World Energy)	37
Figura 26. Gràfic d'emissions de carboni [Grams CO ₂ /Tona-Km] (ICS International Chamber of Shipping)	38
Figura 27. Gràfic: Emissions de CO ₂ [Milions de tones] per tipus de vaixell (Third IMO Greenhouse Gas Study 2014)	40
Figura 28. Gràfic: Emissions globals de SO ₂ [100Gg = 1 Mt] (S.J. Smith and T.C. Bond Two hundred fifty years of aerosols and climate: the end of the age of aerosols) - Imatge esquerra	41
Figura 29. Gràfic: Emissions globals de sofre a l'atmosfera any 2011 (Marine Fuel Facts - Concawe) - Imatge dreta	41

Figura 30. Mapa de les zones ECA global (Exhaust Gas Cleaning Systems Association)	45
Figura 31. Mapa de la nova zona ECA - Korea del Sud (DNV-GL)	46
Figura 32. Mapa de la nova zona ECA - Xina (DNV-GL)	46
Figura 33. Fórmula: Càlcul de l'índex EEDI (MEPC.245 (66))	50
Figura 34. Fórmula: Càlcul de l'índex EEOI per viatge (MEPC.1_Circ684)	54
Figura 35. Fórmula: Càlcul de l'índex EEOI per un nombre de viatges (MEPC.1_Circ684)	54
Figura 36. Principi d'una pila de combustible (Wikimedia Commons)	61
Figura 37. Propulsió amb bateries (Batteries on board ocean-going vessels - MAN)	64
Figura 38. Principis el qual l'amoniac funciona (Ammonia as Marine Fuel - Maritime Panel Discussion)	70
Figura 39. Principi de propulsor magnetohidrodinàmic (Propulsión Magnetohidrodinámica para Embarcaciones - CITE Energia)	74
Figura 40. Optimització del bulb de proa (Cape Horn Engineering)	88
Figura 41. Revestiment del buc (Ecospeed 2015)	89
Figura 42. Lubrificació per aire (Marine Insight)	90
Figura 43. Principi del rotors Flettner (Motorship)	92
Figura 44. Ferri Copenhagen (Süddeutsche Zeitung)	92
Figura 45. Tecnologia kite (Ecofriend)	93
Figura 46. Veles rígides (A new type of collapsible wing sail and its aerodynamic performance)	94
Figura 47. Sistema híbrid veles rígides i panell solars (Marineinsight)	95
Figura 48. Principi d'un motor Stirling Configuració Gamma (Electropaedia)	98
Figura 49. Bulb en el timó (Kawasaki RBS-F timó amb bulb i aletes)	99
Figura 50. Col·locació d'aletes en l'hèlix (Gcaptain)	99
Figura 51. Hèlix canalitzada (Nozzle propeller - Safety4sea)	100
Figura 52. Hèlix contra-rotant (Japan Marine United Corporation)	101
Figura 53. Hèlix de rotació lliure (Wikimedia Commons)	102
Figura 54. Sistema Promas Lite (Rolls Royce)	103
Figura 55. Comportament hidrodinàmic d'un propulsor convencional (Wärtsilä) - Imatge esquerra	104
Figura 56. Comportament hidrodinàmic del sistema Energopac (Wärtsilä) - Imatge dreta	104
Figura 57. Timó no rígida o flexible (Becker Marine Systems)	105
Figura 58. M/T Herbania (AIS Live)	108
Figura 59. M/T Herbania dic sec (Del acontecer marítim - Wordpress)	109
Figura 60. Gràfic Evolutiu: Milions de tones de carga/Any (Martin Stopford 01/12/2016)	115
Figura 61. Gràfic evolutiu del consum de combustibles (Global marine fuel trends 2030)	117
Figura 62. Gràfic evolutiu fins 2030 del tipus de combustible (Global marine fuel trends 2030)	117
Figura A2 63. Sistema CODLAG Combinació de Dièsel Elèctric i Turbina de Gas (Viquipèdia)	130
Figura A2 64. Sistema CODAG Combinació de Dièsel i Turbina de Gas (Viquipèdia)	130
Figura A2 65. Sistema CODOG Combinació de Dièsel o Turbina de Gas (Viquipèdia)	131
Figura A2 66. Sistema COSAG Combinació de Vapor y Turbina de Gas (Viquipèdia)	131
Figura A2 67. Sistema COGAG Combinació de Turbina de Gas i Turbina de Gas (Viquipèdia)	132
Figura A2 68. Sistema COGOG Combinació de Turbina de Gas o Turbina de Gas (Viquipèdia)	132
Figura A2 69. Sistema COGES Combinació de Turbina de Gas i Motor Elèctric (Viquipèdia)	133
Figura A3 70. Exemple de SEEMP Part I (MEPC 282 (70))	135
Figura A3 71. Exemple de SEEMP Part II (MEPC 282 (70))	136
Figura A3 72. 2n Exemple de SEEMP Part II (MEPC 282 (70))	137

Llistat de Taules

La font d'on ha sigut extreta la figura la podeu veure entre parèntesis

<i>Taula 1. Posicions de països respecte a la reserva de barrils de cru (Elaboració pròpia - CIA World Factbook / 1-4-19)</i>	35
<i>Taula 2. Mètodes per la millora energètica (Elaboració pròpia - Study on energy efficiency)</i>	86
<i>Taula 3. Estudi eficiència energètica visió optimista (Elaboració pròpia)</i>	110
<i>Taula 4. Estudi eficiència energètica visió pessimista (Elaboració pròpia)</i>	112
<i>Taula A 5 Taula de Combustibles Residuals</i>	127
<i>Taula A 6 Taula de Combustibles Destil·lats</i>	128

Llistat d'abreviatures

2T Dos temps

4T Quatre temps

BDN Bunker Delivery Notes

BP British Petroleum

Cm centímetres

CO Monòxid de Carboni

CO₂ Diòxid de Carboni

CODAG Combinació de Dièsel i Turbina de Gas

CODLAG Combinació de Dièsel Elèctric i Turbina de Gas

CODOG Combinació de Dièsel o Turbina de Gas

COGAG Combinació de Turbina de Gas i Turbina de Gas

COGES Combinació de Turbina de Gas i Motor Elèctric

COGOG Combinació de Turbina de Gas o Turbina de Gas

COSAG Combinació de Vapor y Turbina de Gas

CV Cavalls de Vapor

DME Dimetil d'èter

DWT Deadweight

ECA Emission Control Areas

EEDI Energy Efficiency Design Index

EEOI Energy Efficiency Operational Indicator

EIAPP Engine International Air Pollution Prevention Certificate

EUA Estats Units d'Amèrica

GT Goss Tonnage

GT Gross Tonnage

HFO Heavy Fuel Oil

ICF International Compensation Fund

IFO 180 Intermediate Fuel Oil 180

IFO 380 Intermediate Fuel Oil 380

IMO International Maritime Organization

kW Kilowatts

LNG Liquefied Natural Gas
LOA Length Overall
LPG Liquefied Petroleum Gas
LS 180 Low Sulphur 180
LS 380 Low Sulphur 380
LSMGO Low Sulfur Marine Gas Oil
MDO Marine Diesel Oil
MEPC Marine Environment Protection Committee
METS Maritime Emissions Trading Scheme
MGO Marine Gas Oil
MHD magnetohidrodinàmic
NH3 Amoníac
NOX Òxids de Nitrogen
POD Azipod
PWR Pressurized Water Reactor
RAP Reactor d'Aigua Pressuritzada
Rpm revolucions per minut
SECA Sulfur Emission Control Areas
SEMP Ship Efficiency Management Plan
SOX Òxids de Sofre
UE Unió Europea
UK United Kingdom
ULSMGO Ultra Low Sulfur Marine Gas Oil
WHR Waste Heat Recovery

Capítol 0. Introducció

En l'actualitat del sector naval coexisteixen una gran varietat de tipus de vaixells, des de els que tenen la càrrega a granel fins a càrregues dintre de contenidors estandarditzats. Dintre de la varietat existeixen diferents maneres de propulsar el vaixells essent algunes molt diferents d'altres però amb un mateix principi compartit, és l'ús de l'hèlix per a ser propulsats.

La indústria naval pateix la incertesa del futur que els depara. Per una banda és prometedor ja que dintre del sector del transport mercaderies són els més econòmics si la quantitat de mercaderies és elevada i a la vegada són els més eco-friendly al ser el menys contaminant de tots respecte a la quantitat de carga transportada en proporció a les emissions que aquest genera durant el trajecte.

Una de les finalitats d'aquest treball és la d'esbrinar quines seran les futures tecnologies o combustibles que substituïran el domini del refinats del petroli que aquest han disposat des de la seva troballa.

L'estructura de l'estudi, la qual la composició es pot consultar en la taula de continguts, té una disposició predeterminada i justificada. La intenció amb l'estructura que s'ha plantejat és la de ubicar els sistemes denominats convencionals i altres sistemes menys habituals que es pot veure en els vaixells de la marina mercant. Posteriorment es dona una visió de l'actualitat del sector i de les necessitats latents, cercar un combustible o tecnologia no contaminant sigui sostenible, i d'altres més urgents, les reduccions d'emissions i mesures d'eficiència energètica, que la indústria fa front.

Posteriorment es plantegen les possibles energies de futur, moltes d'elles en fase d'experimentació o investigació, que avui dia són inviables de poder ser implementades com a única font per a la propulsió principal.

Finalment es detallen les mesures que avui dia s'estan realitzant per complir amb les normatives vigents en clau de reducció d'emissions i eficiència energètica i el seu estudi portat a un cas pràctic.

Capítol 1. Sistemes de Propulsió:

Denominats Convencionals

1.1 1.1 MOTOR DIÈSEL

1.1.1 Història

Rudolf Christian Karl Diesel va ser enginyer creador del motor avui dia conegut com a motor dièsel. Un dels seus principals objectius a assolir era la creació d'un motor de combustió interna, el qual s'aproximés al rendiment teòric de Carnot.

L'any 1892 un any després d'obtenir la patent va publicar una detallada descripció del motor, aquest adoptà el nom de Motor Dièsel, per títol de *Theorie und Konstruktion eines rationellen Wäremotors*.

Amb el pas del temps, i amb el patrocini de la Maschinenfabrik Augsburg conjuntament de la respectada família Krupp, l'enginyer de procedència francesa vas desenvolupar models cada vegada més eficients. L'any 1917 creà el motor de quatre temps, d'un sol cilindre capacitat de desenvolupar 25CV (Cavalls de vapor).

La barreja d'alta eficiència amb un disseny relativament simple, era la combinació perfecte per a convertir-se en un èxit comercial amb repercussió mundial que aquest, generaria ingressos de forma molt ràpida.

En el sector naval, avui dia, el motor dièsel és un dels més emprats per la majoria de vaixells, des de porta contenidors, fins els petroliers. Aquesta màquina, es pot trobar en diverses categories depenen de la funció que desenvolupa o bé classificar segons el seu funcionament: motors de dos temps de baixa velocitat, motors de quatre temps de mitjana velocitat i motors de quatre temps d'alta velocitat. Tot i que la propulsió principal està reservada per motors de baixa i mitjana velocitat, també empen motors dièsel addicionals d'alta velocitat per a generar propulsió auxiliar a la principal.

1.1.2 Principi

El funcionament d'un motor dièsel es basa en una el principi d'una màquina de combustió interna on transforma l'energia calorífica en energia mecànica que aquesta és transmesa a través de mecanismes fins a l'eix on aquest mitjançant una reductora la transmet a l'hèlix.

Per poder comprendre el procés, primer s'ha de distingir segons el seu cicle, si és de dos temps, o bé de quatre temps. S'entén cicle com el procés en el qual un motor de combustió realitza les etapes d'aspiració, compressió, explosió i escapament.

Motor de dos temps:

La característica principal d'un motor de dos temps és el seu cicle, és a dir el motor és capaç de realitzar dos etapes en dos unitats de temps.

En la Figura 1 es troba el primer temps del cicle i la Figura 2 es tracta del segon temps.

En el primer temps, com s'ha mencionat anteriorment es produeixen dues etapes a la vegada, l'explosió i expansió.

En la Figura 1, la imatge situada a l'esquerra es descriu l'explosió i l'inici de l'expansió. Quan el l'èmbol es troba en el punt mort superior, la barreja és comprimida en l'espai neutre. Posteriorment es produeix una ignició donant lloc a la combustió i els gasos derivats empenyen l'èmbol fins al punt mort inferior.

En la imatge central es comprova com l'èmbol abans d'arribar al punt mort inferior, aquest obre el pas a la galeria d'escapament per on els gasos s'evacuen.

Per últim en la imatge de la dreta, es troba el procés de trafegar la barreja des del càrter al cilindre.

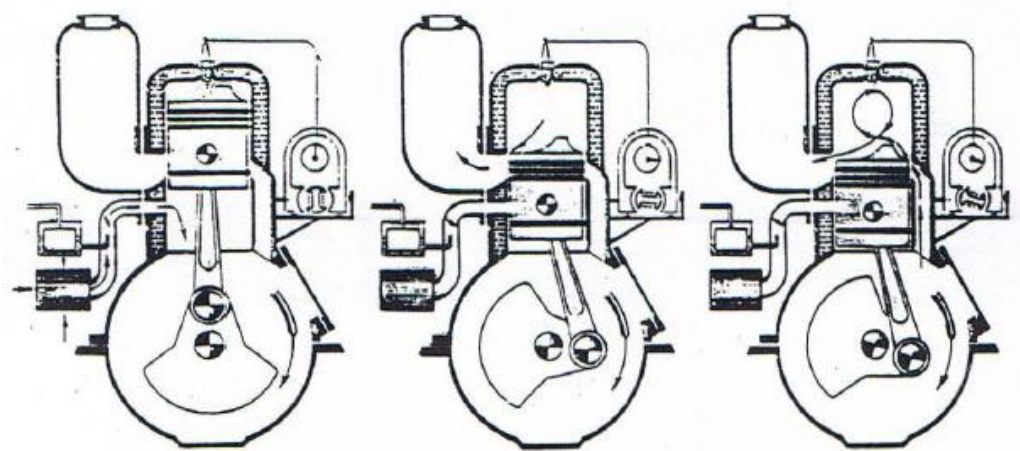


Figura 1. Primer temps del cicle d'un motor 2T (Apunts de Motors de Combustió Interna 280655)

En la imatge ubicada a l'esquerra de la Figura 2, es troba l'escombrat dels gasos cremats. L'èmbol es troba en punt mort inferior i la barreja comprimida en el càrter, que quan aquesta entra, afavoreix a evacuar els gasos ja cremats.

En la imatge central es troba la finalització del subministrament de la barreja i l'escombrat. Tant aviat com l'èmbol tanca la galeria d'escapament, finalitza automàticament l'entrada de la barreja i per tant de l'escombrat dels gasos.

En la imatge de la dreta s'ubica la finalització d'escapament i l'inici de l'etapa de la compressió. La compressió de la barreja s'inicia en quan l'èmbol tanca la galeria d'escapament, la barreja conseqüentment comença el seu procés de ser comprimida per l'èmbol.

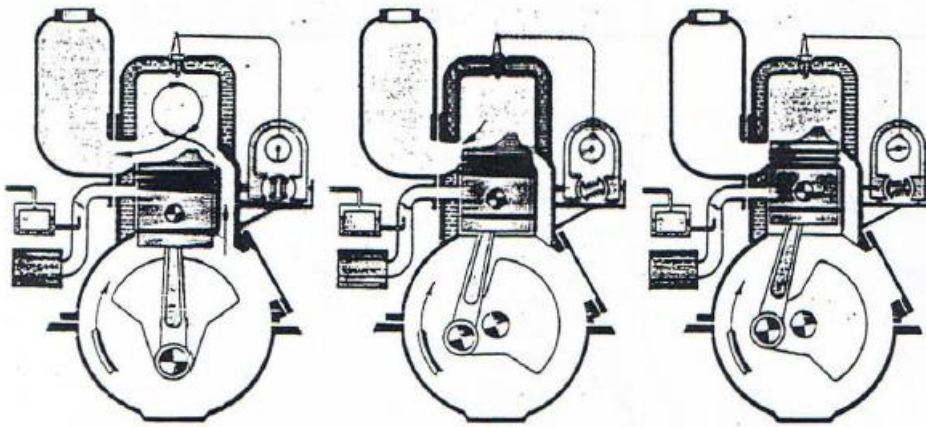


Figura 2. Segon temps del cicle d'un motor 2T (Apunts de Motors de Combustió Interna 280655)

Motor de quatre temps:

La característica principal del motor de quatre temps és el seu cicle realitzat en quatre etapes, l'aspiració, compressió, l'explosió i l'escapament en quatre unitats de temps.

En la Figura 3 es produeix l'aspiració, aquesta es produeix quan l'èmbol passa pel punt mort superior al inferior. Durant el procés descendent de l'èmbol la vàlvula d'aspiració queda oberta i l'aire entra en el cilindre emplenant-lo.

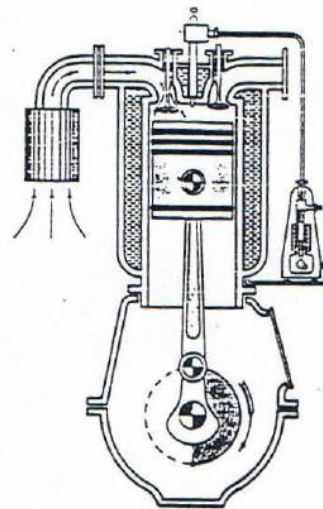
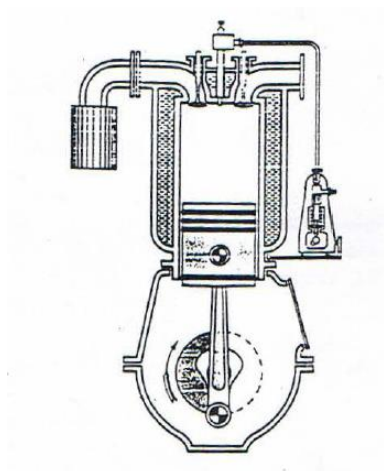


Figura 3. Primer temps del cicle d'un motor 4T (Apunts de Motors de Combustió Interna 280655)



En la figura 4 es produeix a terme la compressió, la segona etapa del cicle en la segona unitat de temps. La vàlvula d'aspiració es tanca de manera automàtica quan l'èmbol arriba al punt mort inferior. L'èmbol realitza un moviment ascendent fins assolir el punt mort superior provocant així la compressió de l'aire.

Figura 4. Segon temps del cicle d'un motor 4T (Apunts de Motors de Combustió Interna 280655)

En la figura 5 es produeix la combustió i expansió, que és la tercera etapa del cicle en la tercera unitat de temps. Aquesta etapa s'inicia quan l'èmbol arriba al punt mort superior, és doncs, quan és injectat gradualment el combustible. Els gasos que es generen en la combustió espontània empenyen l'èmbol per recuperar la posició del punt mort inferior.

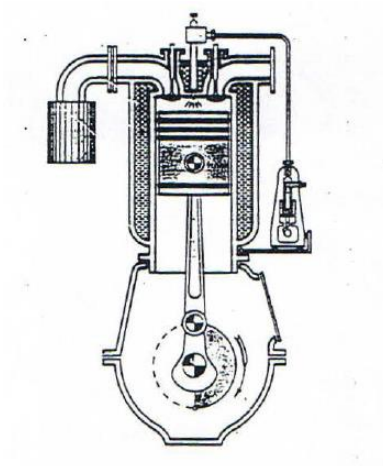
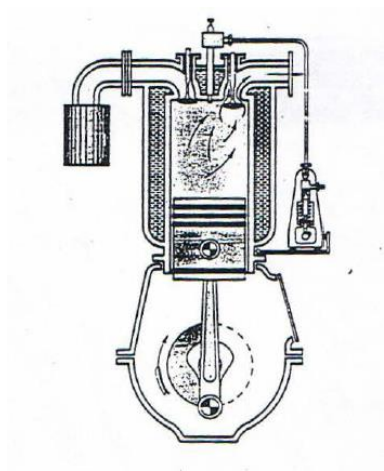


Figura 5. Tercer temps del cicle d'un motor 4T (Apunts de Motors de Combustió Interna 280655)



Finalment, en la figura 6 es troba l'última etapa del cicle de quatre temps, l'escapament. Aquesta fase es produeix com la resta, en una unitat de temps i es produeix quan la vàlvula d'escapament s'obre quan l'èmbol es troba immediatament en la punt mort inferior. Els gasos que han estat cremats s'evacuen per la vàlvula i aquesta, es tanca quan l'èmbol recupera la posició inicial del cicle que és la del punt mort superior.

Figura 6. Quart temps del cicle d'un motor 4T (Apunts de Motors de Combustió Interna 280655)

S'ha de fer especial menció que els dos motors descrits anteriorment, tant el de dos temps com els de quatre, s'ha explicat el funcionament teòric. Per diferenciar-lo del funcionament pràctic/real del motors en general i en aquest cas els marins, del funcionament teòric s'ha de tenir diferents aspectes a tenir en compte:

- Les vàlvules s'obren i es tanquen amb un cert retràs de temps o bé de manera prematura en funció de l'etapa que es desenvolupi.
- La injecció és intruïda al cilindre de forma prematura, abans que l'èmbol arribi al punt mort superior, el procés s'anomena avançament de la injecció.
- No es dona per conclòs el cicle fins que l'èmbol no ha recorregut una certa distància del cilindre.

Els punts mencionats anteriors estan subjecte a un element del motor, concretament el cigonyal. Per tal de poder automatitzar els temps mencionats d'obertura o tancament de les vàlvules i de la injecció del combustible, es considera els graus del cigonyal per tal de poder establir els tempos correctes per a una bona combustió i amb l'objectiu principal de poder obtenir un millor rendiment i un motor més eficient.

Vegeu en la figura 7 un motor real per a un vaixell de la marina mercant. La propulsió es crea a través del volant d'inèrcia on aquest és acoblat l'eix que a l'altre extrem es troba l'hèlix que genera l'empeny per a propulsar el vaixell.

Tanmateix el motor està refrigerat per un circuit d'aigua dolça que aquest aprofita per refrigerar l'oli com també el cilindre per tal d'evitar temperatures per sobre dels 100-110°C i produïssin un trencament d'algun mecanisme o component del motor. Les temperatures de treball solen ser de 80-85°C dintre dels cilindres.

L'aigua que és refredada dintre del motor, aquesta després passa a ser refredada per intercanviadors de calor amb aigua salada com a líquid refrigerant. Conseqüentment s'eviten que dintre del motor entri la corrosió de l'aigua de mar.



Figura 7. Motor dièsel (Team BHP)

1.1.3 Combustibles

Es pot diferenciar dos tipus de combustibles, el residual i el destil·lat amb els quals el motor dièsel pot treballar.

- Combustibles Residuals

S'entén per combustible residual com aquell que ha sigut extret un cop ha passat un procés de refinaria. És el resultant després d'haver obtingut tots els productes considerats com correctes com poden ser el gasoil, la gasolina, el propà, el butà, olis lubricants, nafta, entre altres.

Aquest no pot ser emprat tal i com es troba en el seu estat, sinó que ha de passar per una sèrie de processos a bord i ser barrejat amb altres productes per tal de poder ser cremats en el motor.

Es diferencien els següents tipus segons l'estandardització ISO:

- RMA 30
- RMB 30
- RMD 80
- RME 180 - IFO 180
- RMF 180 - IFO 180
- RMG 380 - IFO 380
- RMH 380 - IFO 380
- RMK 380 - IFO 380
- RMH 700
- RMK 700

Per a més informació vegeu Annex 1. Informació detallada de combustibles marins

Combustibles Destil·lats

S'entén per combustibles destil·lats aquells als denominats derivats com ara el dièsel o gasoil. Dintre les seves grans qualitats, es troben la lleugeresa, el seu fàcil maneig i són els més nets fent referència al medi ambient. El seu preu oscil·la depenent de la situació del mercat però costen quasi el doble que els residuals.

Aquest és obtingut de la refinaria a través del petroli cru i necessita de molt poc tractament per a ser usats. Normalment s'empren en motors auxiliars, d'emergència per tal de generar potència elèctrica o bé hidràulica.

Es diferencien els següents tipus segons l'estandardització ISO:

- DMX
- DMA - MGO Marine Gas Oil
- DMB - MDO Marine Diesel Oil
- DMC^a

Per a més informació vegeu Annex 1. Informació detallada de combustibles marins

1.1.4 Avantatges

- Aquests tipus de propulsió són capaços de poder realitzar grans cargues de treball i el seu comportament molt fiable i dinàmic en el mar.
- Existeix una extensa formació d'enginyers per tal de poder reparar i mantenir aquesta maquinaria.
- És la tecnologia per excel·lència en el sector naval a nivell de propulsió primària com auxiliar.
- Existeix una xarxa mundial de recanvis i tallers de reparacions especialitzats en motors dièsel.
- Teixit mundial de punts de subministrament dels combustibles emprats.
- Capacitat de cremar combustibles residuals sense comprometre la vida útil del motor
- Rendiment tèrmic superior en comparació altres sistemes de propulsió com les turbines de gas.

1.1.5 Inconvenients

- Tenen problemes amb les emissions a l'atmosfera, a nivell de CO₂, NO_x i SO_x.
- Problemes amb emissions de partícules i compostos orgànics volàtils.
- Han de regir-se per la normativa del l'Annex VI del Marpol.
- En cas de fallada del motor, per qualsevol motiu, no es disposa d'alternatives per seguir propulsant el vaixell.

1.2 GAS NATURAL LIQUAT

1.2.1 Història

Avui dia en la indústria naval existeixen una quantitat de vaixells que utilitzen el LNG (Liquified Natural Gas) com la font principal per a propulsió, ja sigui vaixells que durant un període de temps han estat realitzant operatives i s'han reconvertit per adaptar la maquinaria propulsora al nou sistema, com també mencionar que avui dia hi ha constructores i armadors que aposten pel sistema, fabricant vaixells amb el LNG com a font principal de combustible.

Els primers vaixells en usar aquest tipus de combustible van ser els mateixos que transportaven el LNG com a càrrega. Un dels motius per utilitzar-lo era degut el boil-off que és produït durant els processos d'emmagatzemament en els tancs. El boil-off es produeix quan el LNG és sotmès a un lleuger canvi de temperatura o pressió, o els dos simultàniament provocant que aquest s'evapori. Era un dels motius pels quals en comptes de re-liquar de nou el LNG gastant una quantitat d'energia considerable mitjançant una instal·lació frigorífica, aprofitaven i l'usaven com a combustible o bé per la caldera o per motor.

És un fet constatat que avui dia el LNG està en alça i ho demostren així els números que any rere any canvien i adapten el seu vaixell per a ser propulsat per aquest combustible. A dia d'avui la xifra es troba al voltant dels 300 vaixells que usen el LNG com a font de propulsió marina, sense tenir en compte la quantitat d'ells que estan en procés de fabricació o bé a dic sec per tal de reconvertir-se.

1.2.2 Principi

La propulsió per mitjà de LNG està denominat com una alternativa de combustible, és doncs una altra opció per a ser consumits en els motors. Però aquests motors es troben de dos tipus, els motors de Dual Fuel i els motors de Barreja Pobre.

Tanmateix vegeu la figura 8 a títol del sistema LNG que empra un vaixell, amb el seu tanc i els motors que a continuació es descriuen.

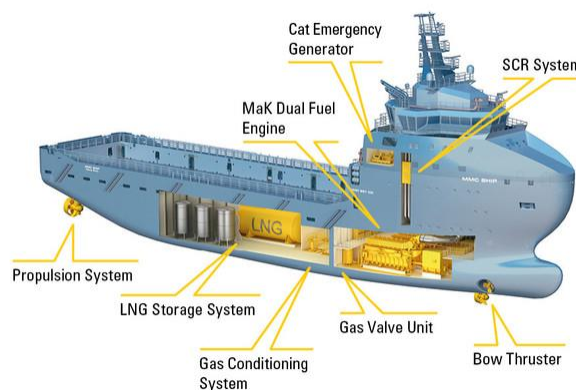


Figura 8. Sistema de propulsió LNG (Zeppelin Power Systems)

- Motors Dual Fuel:

Aquests tipus de motors estan dissenyats per a desenvolupar un treball amb dos tipus de combustibles, els convencionals emprats en motors dièsel com poden ser els combustibles residuals o bé destil·lats (menys freqüents pel seu alt cost) i per una altra banda els combustible en qüestió.

En la figura 9 es demostra com treballa el motor segons el tipus de combustible emprat, en el cas d'usar el combustibles residuals, com fuel oil o bé marine dièsel oil aquest treballa amb un cicle dièsel i el combustible és injectat mitjançant el propi sistema a la càmera de combustió.

Pel contrari quan el motor empra el LNG el motor realitza el cicle Otto amb un barreja pobre de gas i aire en la càmera i per tal de poder produir la combustió s'injecta en petita quantitat, el combustible dièsel marí per tal de ser la flama d'ignició i produir la combustió desitjada i controlada.

Aquests tipus de màquines treballen a pressions relativament baixes sobre els 4 i 5 bars, amb una alta eficiència quan treballa amb cargues de volum alt.

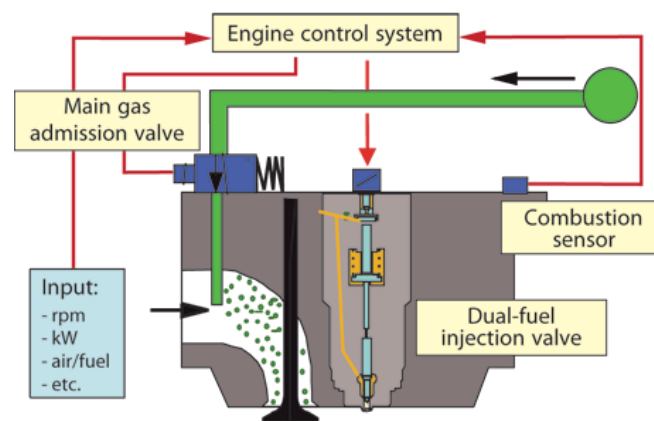


Figura 9. Principi dels motors Dual-Fuel (Target Global Energy Training)

- Motors de Barreja Pobre:

Estan especialment dissenyats per a ser funcionats amb el LNG com a combustible mitjançant un motor amb el cicle Otto. El seu principi es basa en l'ús d'una major quantitat d'aire i conseqüentment un menor quantitat de combustible. Un dels motius pel quals la barreja és pobre en combustible és la necessitat de prevenir que la ignició no es produeixi de manera automàtica al introduir-se a la càmera de combustió.

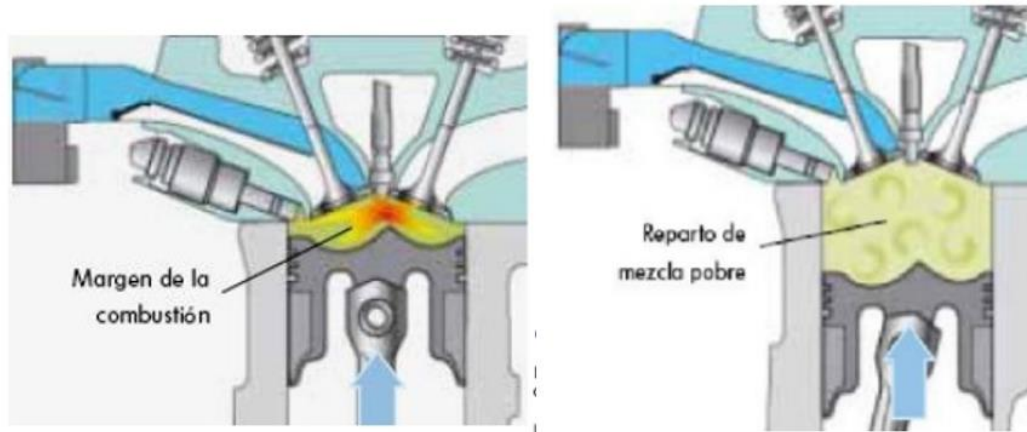


Figura 10. Principi dels motors de Barreja Pobre (Inyección directa de gasolina con Bosch Motronic MED 7)

1.2.3 Combustibles

El sistema de combustible té com a finalitat poder ser propulsats únicament i exclusivament mitjançant el LNG, però no es pot obviar que en els motors dual-fuel fan ús de combustibles residuals, com fuel oil o marine dièsel oil.

Com s'ha mencionat en el punt anterior es troba a continuació els combustibles que empren el sistema propulsiu a base de LNG:

- Gas Natural Liquefats
- Fuel Oil (Motors de Barreja Pobre)
- Marine Diesel Oil (Motors de Barreja Pobre)

1.2.4 Avantatges

- El LNG com a combustible redueix al complet totes les emissions de SO_x .
- Tanmateix redueix les emissions fins a un 90% de NO_x .
- Redueix les emissions de CO_2 al voltant d'un 20%.
- El LNG té unes propietats molt correctes en el moment de la combustió que el fa adaptar-se fàcilment als motors marins.
- El preu d'aquest combustible és més baix de cost en relació als combustibles tradicionals com poden ser la gamma de Fuel Oils.
- Les previsions de subministrament de LNG, i les reserves indiquen que podran satisfer en escriure la demanda en el sector de la indústria marítima els pròxims anys.

1.2.5 Inconvenients

- Pels vaixells d'antiga construcció han d'invertir un cost molt elevat per remodelar el sistema de combustible i en la gran majoria canviar per motors duals respecte al consum de combustibles per poder usar el LNG com també els fuel oil.
- Aquest tipus de combustible ha de ser emmagatzemat a temperatures de -162°C el qual indica un repte més en l'adaptació a l'hora d'implementar aquest tipus de combustible.
- Tanmateix implica un nou mètode i requereix d'un altre tipus en la infraestructura del bunkering que és el sistema de subministrament del combustible.

1.3 TURBINA DE GAS

1.3.1 Història

El britànic John Barber fou el primer en inventar la turbina amb l'objectiu de ser impulsada per gasos de combustió, tot i que només va arribar a patentar la idea.

El predecessor en la carrera, en inventar una turbina va ser el britànic Whitte que en el 1928 va poder patentar i nou anys més tard, provar el primer turboreactor d'aviació que s'impulsava per reacció.

Per trobar la primera turbina de gas dintre del sector naval s'ha de remuntar als inicis dels anys setanta on Rolls Royce dissenyà una turbina per avions comercials que finalment va ser adaptada per a la marina britànica amb la finalitat de la guerra.

L'any 1967 General Electric creà una turbina de 27.200 CV destinada al vaixell Admiral . W. M. Callaghan el qual va ser especialment dissenyat per usar aquest tipus de sistema. La disposició era de dos eixos amb un compressor de 16 etapes amb paletes fixes orientables i una pressió de descàrrega de 17 Bar.

La primera turbina de gas va ser instal·la en un vaixell de dimensions petites. Pel que respectava els vaixells més grans, al ser propulsats a vapor simplement afegien a la planta la turbina a mode d'obtenir la navegació ràpida que oferia.

Les turbines de gas es poden usar ja sigui tant amb motors propulsors de naturalesa mecànica com generadors d'electricitat.

1.3.2 Principi

Les turbines de gas funcionen mitjançant el cicle Brayton. Aquest cicle es caracteritza per un gas perfecte pateix una compressió a entropia constant en un compressor. Un cop surt del compressor el gas pateix un escalfament a temperatura elevada i a pressió constant dintre d'una càmera de combustió. A continuació el gas s'expandeix isoentropicament a la turbina fins que la pressió disminueix a la d'aspiració inicial del compressor. Finalment el treball desenvolupat d'expansió és de caràcter major que el d'absorció en la fase de compressió.

La figura 7 a tall d'exemple es pot observar com el compressor axial es troba a l'esquerra de la imatge que acostuma a treballar amb relacions de pressió 1-10 fins al rang 1-30 normalment. A continuació es troba la càmera de combustió que elevarà la temperatura de l'aire al voltant de 1000°C - 1200°C fins a un màxim de 1700°C depenent de turbina de gas. Finalment es pot trobar la turbina, que serà l'encarregada de transformar l'energia química produïda en energia cinètica mitjançant les toveres, i posteriorment els àleps seran els encarregats de produir l'energia mecànica traslladant-la a l'eix o rotor.

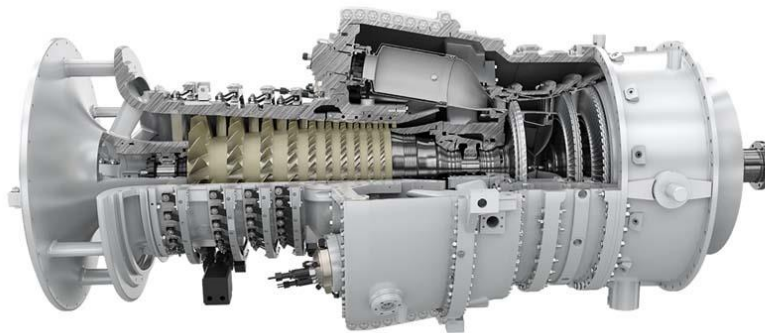


Figura 11. SGT-100 Turbina de Gas (Siemens)

1.3.3 Combustibles

La turbina de gas no deu el seu nom al combustible que emprava sinó al fluid que circula a través de la turbina, ja que entra aire el qual es sotmet com s'ha mencionat anteriorment a un procés d'elevació de temperatura i de pressió, però sempre és un fluid gasos el que acaba circulant a la turbina.

- Combustibles Líquids:
- Querosè
- Fuel Oil
- Gasoil
- Gas Natural

1.3.4 Avantatges

- Las turbines són capaces de generar molta potència per poder fer front a les possibles càrregues de treball i de disposar d'una alta fiabilitat.
- En comparació el motor dièsel presenten una clara avantatge en qualitat del pes i volum que la turbina i els seus components ocupen en la càmera de màquines
- Proporciona molta flexibilitat en el maneig durant el procés d'operacions de carga de la turbina.
- Cost de manteniment de components i la maquinaria relativament baix.
- Absència de moviments alternatius ni de fregaments entre les superfícies sòlides com podria ser el cas del pistó i la camisa en motors dièsel. Finalment això es tradueix en menors problemes d'equilibrat i menors consums d'olis de lubricació, que aquests no estan en contacte amb superfícies calentes o gasos de combustió.
- La cremada del combustible és quasi total cosa que afavoreix a la reducció d'emissions de NO_x i SO_x .
- Disposen d'una baixa inèrcia tèrmica, permet aconseguir la plena carga de treball en períodes de temps molt curts.

1.3.5 Inconvenients

- Les instal·lacions de turbines de gas tenen un consum de combustible molt elevat. Aproximadament la relació que oscil·la del consum mig entre una turbina de gas i un motor dièsel és de 45g/CV en detriment de la turbina de gas.
- És una màquina que té un alt cost de fabricació.
- Reparacions més elevades.

1.4 PROPULSIÓ DIÈSEL ELÈCTRIC

1.4.1 Prefaci

Primer de tot, s'ha de constatar que avui dia s'ha convertit en un mitjà de propulsió per excel·lència per uns determinats tipus de vaixells. Tanmateix no és pot considerar propulsió convencional en la tessitura del fris històric de la propulsió en la marina mercant. Però s'ha considerat més escaient ubicar la propulsió dièsel elèctrica en clau de propulsió convencional per la gran quantitat de vaixells que usen avui dia aquest tipus de tecnologia per a la navegació.

1.4.2 Història

La idea de la propulsió mitjançant l'electricitat no és una novetat en aquest segle, sinó es remunta a inicis del segle XX. Un dels casos amb més renom és del vaixell S/S Normandie, disposava d'uns turbogeneradors de vapor que aquests proporcionaven la necessària energia elèctrica per a dos motors elèctrics i síncrons d'aproximadament de 29 MW per cada un dels quatre eixos de l'hèlix.

Per una altra banda, Francis Ronalds va ser el pioner britànic en descriure l'any 1859 un sistema el qual combinava la propulsió i govern del vaixell en un mateix dispositiu. Tot i així el dispositiu azimuthal modern que utilitza la transmissió Z-drive fou inventat l'any 1950 per Joseph Becker i fou comercialitzat amb el nom de Ruderpropeller. No va ser fins cinc anys més tard que Pleuger patentà el sistema.

A finals de la dècada dels 80, va ser desenvolupada la tecnologia Azipod pel Grup ABB, la qual originalment estava pensada d'aplicació en trenca-gels però ràpidament es va demostrar que aquesta tecnologia tenia molts beneficis, com ara de eficiència hidrodinàmica o de maniobrabilitat. La tecnologia POD revolucionaria el sistema ja que el canvi més substancial era que tant el motor com el propulsor estaven ubicats fora del vaixell, és a dir submergits per fora del casc, en el POD

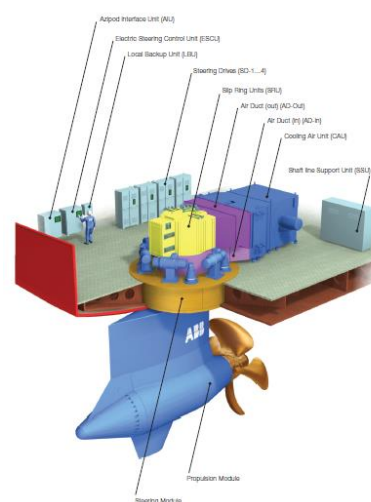


Figura 12. Sistema de propulsió POD (ABB - Azipod XO2100 and XO2300)

1.4.3 Principi

Per a comprendre el funcionament d'aquest sistema s'ha de considerar que per una banda està el generador i transformador d'energia i per l'altra, la propulsió que és produïda per un motor elèctric. El funcionament bàsic d'aquest sistema són motors dièsel que aquests mitjançant els volants d'inèrcia dels propis motors són acoblats als alternadors, generant doncs energia elèctrica. Aquesta energia serà emprada per subministrar a un motor elèctric que aquest, generarà la propulsió per mitjà d'un eix del qual transmetrà la seva rotació a l'hèlix per tal de generar la propulsió.

Existeixen però diferents tipus de propulsió:

- Propulsor Tipus Azimutal:

La figura 11 detalla el mètode que s'empra per generar l'energia fins a ser transmesa a l'hèlix. En un inici es disposa de quatre motors dièsel els quals estan acoblats cadascun a un alternador que aquests

convertiran l'energia mecànica en elèctrica on serà usada per alimentar la planta elèctrica com per a la propulsió. L'energia elèctrica produïda en els alternadors és connectada al quadre principal de distribució el qual per mitjà de transformadors i posteriorment per convertidors de freqüència per tal de poder subministrar l'electricitat al motor .

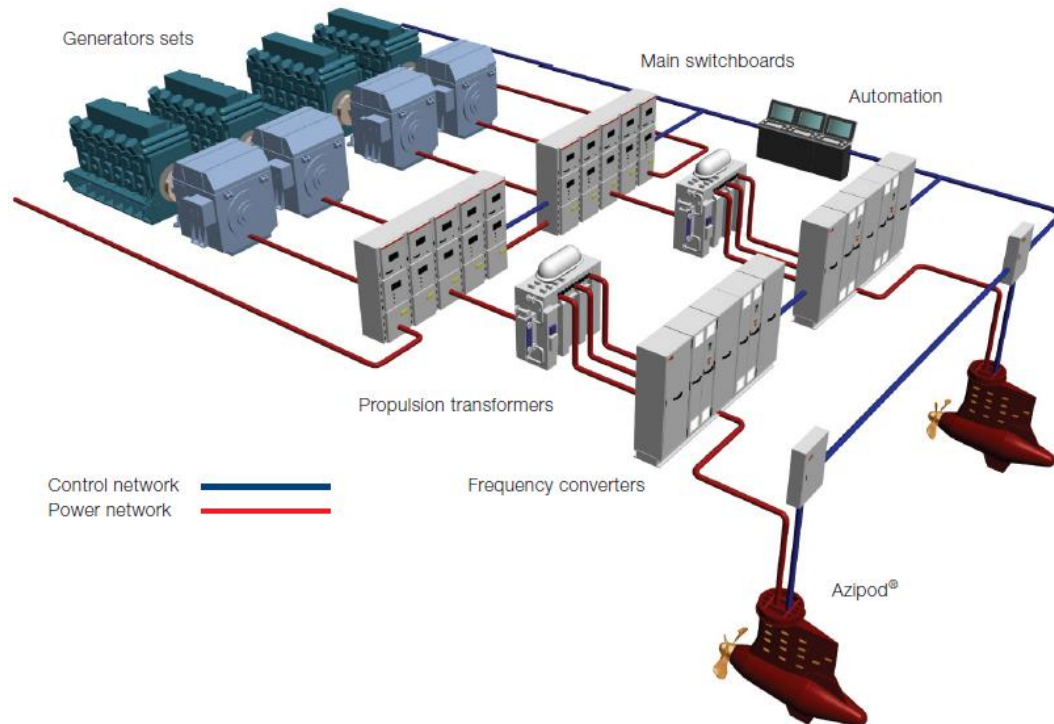


Figura 13. Sistema de Propulsor Tipus Azimutal (ABB - Azipod XO2100 and XO2300)

En el propulsors azimutals es poden diferenciar dos tipus d'instal·lacions, tot i que el principi és exactament el mateix, la manera de transmetre pot variar. En el cas de la figura 12 es pot observar que el motor elèctric es troba dintre del casc del vaixell i la transmissió al propulsor és mitjançant la transmissió mecànica per la unió d'engranatges de dos eixos. S'ha de fer especial menció que aquest tipus de propulsors són poc habituals.

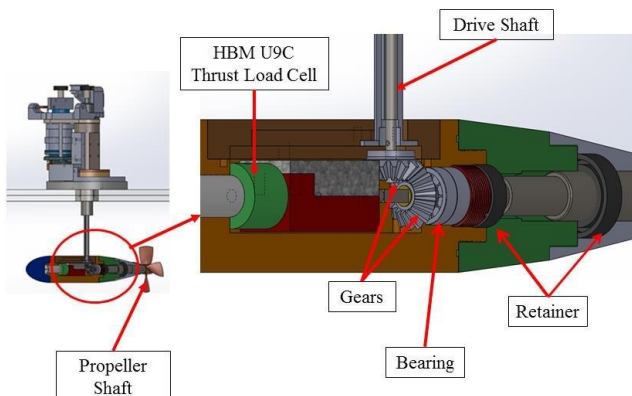


Figura 14. Propulsor azimutal de transmissió mecànica (Pod device development for small scale propeller model tests)

Per altra banda estan els propulsors azimuthals de transmissió elèctrica, que aquests presenten la diferència més gran en la ubicació del seu motor, ja que aquest es troba fora del casc vaixell, altrament considerat a l'apèndix. És doncs que la transmissió de l'energia arriba per cablejat al motor que es troba submergit dintre del POD i allà converteix l'energia elèctrica en mecànica creant un moviment rotatiu en l'eix de l'hèlix. Vegeu la figura 13 a tall d'exemple.

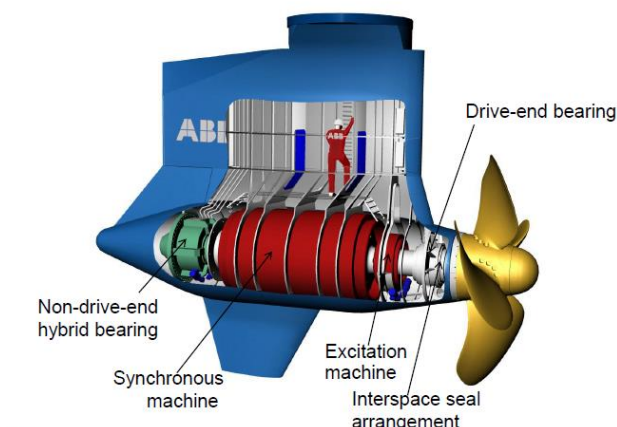


Figura 15. Propulsor azimuthal de transmissió elèctrica (Azipod for Main Propulsion and Thrusters)

Propulsor Tipus Híbrid:

El sistema de propulsió híbrida és una barreja entre el sistema convencional impulsat per un motor dièsel però a la vegada també pot ser impulsat mitjançant un motor elèctric. En la figura 16 es detall com és un sistema dièsel híbrid el qual està compost per un motor dièsel únicament i exclusivament per a la propulsió de l'hèlix mitjançant una reductora. Per altra banda, ubicat a la dreta de la imatge es troben dos dièsel generadors els quals generen electricitat ja sigui per la planta elèctrica, o bé es pot usar per subministrar corrent elèctric al motor elèctric acoblat a la reductora per tal de generar energia mecànica per a la propulsió.

És un dels mètodes que s'usen avui dia per a complir normatives d'emissions, d'aquesta manera obvien la propulsió directa per motor dièsel que aquesta genera molta contaminació, també en funció del tipus de combustible que s'usa.

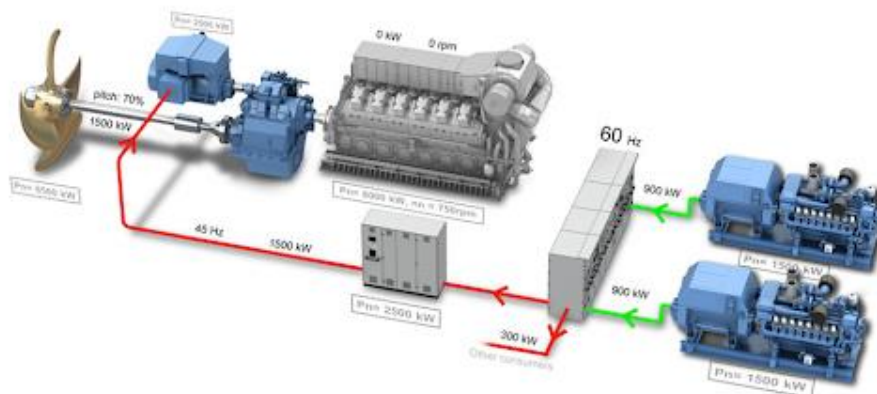


Figura 16. Propulsió Dièsel Elèctric Tipus Híbrid (Berger Maritiem)

1.4.4 Combustibles

Els combustibles que usa aquest tipus de sistema no deixen de ser combustibles fòssils els quals, poden ser cremats en dièsel generadors, en el cas de la propulsió tipus azimuthal. Conseqüentment els combustibles que empra un dièsel generador són tant fuel oils com ara destil·lats

Pel que respecte al tipus dièsel-elèctric híbrid, al emprar com un dels mitjans el sistema de motor dièsel queda palès, aquest usará els mateixos tipus de combustibles tant els tipus de residual com els destil·lats.

Per tant, els dos tipus que existeixen en la propulsió dièsel elèctrica

1.4.5 Avantatges

- Menor consum de combustible i de retruc, proporciona reduccions d'emissions, a nivell de CO₂, NO_x i SO_x, degut a la possibilitat d'optimitzar la càrrega de gasoil.
- Menor consum de combustible, s'estima una reducció del 20% en consum de combustible quan aquest és propulsat per un motor elèctric.
- Els grups electrògens proporcionen una alta eficiència del amb càrregues de treball elevades.
- Són un bon sistema a implantar per a vaixells que tenen règims de treball diferenciats, durant operativa i quan estan en navegació.
- Menor soroll de propulsió i reduccions de les vibracions.
- En cas de fallar un dièsel generador, es disposen de més unitats que podran subministrar l'energia suficient per a continuar la navegació.
- Menys volum que ocupa la màquina propulsiva en els casos de propulsió dièsel elèctrica no híbrida.

Pel que respecte a avantatges que disposen exclusivament els que empren la propulsió tipus Azipod:

- Per la pròpia essència el sistema POD prescindeix de reductores i conseqüentment fent innecessari les hèlixs de pas variable.
- Tants els motors primaris com els motors elèctrics poden estar ubicats en gran part del vaixell, no es regeixen d'una manera imperativa com els sistemes convencionals.
- Els sistema POD disposen d'una avantatge a tenir en consideració ja que la seva flexibilitat a l'hora de ser ubicats els permet estar en extrems tant de proa com de popa.
- Proporcionen una millor maniobrabilitat al permetre moure en l'eix azimuthal 360° els propulsors.
- Proporcionen una gran fiabilitat en condicions de gel.

1.4.6 Inconvenients

- En casos de vaixell que transporten cargues de tipus general. portacontenidors o de carga a granel, que no tenen un gran desplaçament la millor opció per a ser propulsats són motors dièsel de 2T, ja que encara aquesta tecnologia no ha pogut superar el consum específic del motor de 2T.
- Tanmateix fan ús de combustibles fòssils com a font per a generar electricitat.
- En motors Azipod, es requereixen d'altres càrregues en moments de maniobrabilitat que aquesta si la planta elèctrica del vaixell no està ben dimensionada o els alternadors no estiguin sobredimensionats causen l'apagada general (black out) de la pròpia planta. Com a conseqüència quedant a la deriva en moments on el govern del vaixell és primordial no perdre'l, ja sigui en operacions de port o bé al voltants.

Capítol 2. Sistemes de propulsió:

Denominats menys habituals

2.1 PROPULSIÓ NUCLEAR

2.1.1 Història

Els primer vaixell que donà els resultats més prometedors per tal de desenvolupar la propulsió a partir de l'energia nuclear va ser un dels vaixells de l'armada d'Estats Units d'Amèrica, el seu nom USN Nautilus sobre l'any 54 del segle XX. Va ser el precursor de centenars de submarins amb el mateix sistema de propulsió.

El trenca-gels Lenin va ser el primer de la seva "espècie" en ser propulsat mitjançant la tecnologia nuclear a l'any 1959 i va estar en servei durant 30 anys i es retirà a conseqüència de l'abradió produïda pel gel al buc.

Quasi una dècada més tard, el 1962 els Estats Units van prosseguir amb el seu objectiu de construir un vaixell, el N. S. Savannah, el qual era capaç de generar 20.000CV y una velocitat de creuer de 21 nusos. Mes tard va prosseguir el vaixell N.S. Otto Hahn de bandera alemanya que era capaç d'entregar 10.000CV.

L'any 1970 el vaixell japonès Mutsu va ser un fracàs estrepitos per la quantitat de problemes tècnics i la repercussió política.

El vaixell NS Sevmorput encarregat a Rússia l'any 1988 va ser creat a per realitzar serveis pels ports ubicats al Nord Sibèria. Tracta d'un "Lash-Carrier" i portacontenidors amb una proa de trenca-gel. Des del seu inici, només ha necessitat tornar a ser aprovisionat de combustible una sola vegada, l'any 2003. Cap als vols de 2014 hauria d'haver estat desmantellat, però Rosatom va aprovar la revisió i el 2015 tornava al servei. Avui dia encara està operatiu i navegant.

El vaixells de nova construcció són l'Arktika, Sibir, Ural els quals estan planejats pel 2020, 2021 i 2022.

2.1.2 Principi

El sistema de propulsió és característic per obtenir l'energia propulsiva mitjançant el procés de fissió nuclear. El concepte de la fissió s'entén durant el procés on l'urani és bombardejat per neutrons tèrmics, els quals disposen de molta velocitat. L'objectiu principal és l'obtenció d'energia calorífica a partir dels neutrons quan aquests, xoquen contra un àtom d'urani. Com a conseqüència del xoc s'alliberen més neutrons que aquests xocaran contra altres àtom d'urani, produint la reacció nuclear cadena, alliberant així altíssimes temperatures com a resultat.

Per a comprendre com funciona el sistema propulsiu, és bàsic comprendre que està format per dos cicles, vegeu figura 15. Un cicle que genera l'energia calorífica (Cicle 1) a partir de la fissió nuclear i l'altra és l'encarregat de transformar aquesta energia, en energia mecànica (cicle 2) mitjançant una turbina. Aquests reactors reben el nom de PWR o RAP en català, Reactors d'Aigua Pressuritzada.

En el circuit primari es poden veure els següents dispositius: reactor nuclear, dispositiu que pressuritza el sistema, una bomba i un generador de vapor. I per una altra banda, en el circuit secundari es troben; dos turbines de vapor, una d'elles funciona acoblada a un generador per a subministrar energia a les bateries i l'altra al sistema de propulsió mitjançant eixos i engranatges, condensadors, bateria, bomba i motor elèctric.

S'ha de comprendre que existeixen fins a tres tipus de circuits independents d'aigua, l'aigua pressuritzada dintre del reactor (circuit vermell/groc - Cicle 1), l'aigua/vapor emprat per crear el moviment a la turbina (circuit vermell/blau - Cicle 1 i 2) i el circuit d'aigua salada per a refrigeració de l'aigua que prové de les turbines (circuit verd - Cicle 2).

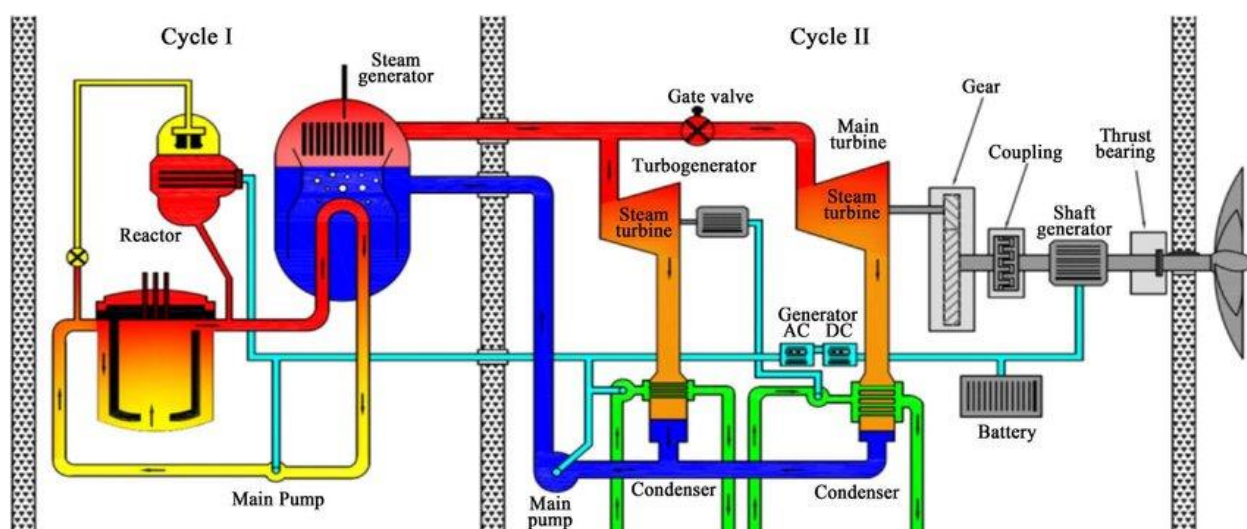


Figura 17. Sistema de propulsió nuclear (Design and Comparative Analysis of Small Modular Reactors for Nuclear Marine Propulsion of a Ship)

Com s'ha mencionat anteriorment, en el cicle 1, dintre del reactor es produeix la fissió on les altes temperatures escalfen l'aigua pressuritzada dintre del reactor. Per tal de poder contenir tota l'energia s'empren les barres de moderació que el seu objectiu és absorbir els neutrons gràcies al seu material que normalment estan fetes de bor o cadmi. I per tal que el reactor estigui en funcionament les barres de moderació no estan connectades al reactor. Amb l'objectiu de mantenir la temperatura equilibrada, es fa servir un circuit de refrigeració, mitjançant aigua com a refrigerant, aquesta, absorbeix part de la calor que els neutrons produeixen quan col·lisionen amb àtoms d'urani. L'aigua del reactor quan es converteix en vapor és enviada al generador de vapor on conté l'altra circuit d'aigua. L'aigua que si troba dins absorbeix la calor, produint vapor. Finalment el vapor del circuit del reactor s'ha refredat és impulsat de nou cap al reactor amb una bomba.

Per altra banda en el circuit 2, el vapor que prové del generador té dos circuits a seguir i el caudal del vapor és únicament regulat per la vàlvula que s'ubica abans de la turbina que genera energia mecànica destinada a la propulsió. És docs que el vapor pot seguir dos circuits diferents un on passa per la turbina que està acoblada a un generador i aquest transforma l'energia mecànica en electricitat i aquesta és usada per a subministrar electricitat per a la planta del vaixell o bé per carregar les bateries. Per un altra costat si la vàlvula que regulada el caudal, obre el pas del vapor passa directament a la turbina que genera energia mecànica i a través d'engranatges i acoblaments generen la propulsió del vaixell.

El vapor una vegada finalitza el recorregut de les turbines és digerit a dos condensadors (depèn del sistema es poden trobar un únic condensador on reculli el vapor de les dues turbines). Allà el vapor es condensat mitjançant aigua salada com a circuit terciari en el qual absorbeix la temperatura no tant alta del vapor que aquest es condensa per tornar-se aigua i ser bombejat fins al generador de vapor, per tornar a començar el cicle novament.

En cas de fallada del reactor i no generar vapor per a la propulsió, es disposen de bateries per tal de poder continuar propulsant el vaixell mitjançant un motor elèctric que és acoblat a l'eix propulsiu del vaixell.

2.1.3 Combustibles

El combustible que solen emprar aquest tipus de propulsió és l'urani 235 altament enriquit

A nivell del combustible actualment s'estan fabricant els nous reactors nuclears per a que tinguin una vida llarga d'aproximament d'uns 50 anys, fent així que no sigui necessari l'aprovisionament de combustible fins llavors. En els reactors més antics la data de tornar aprovisionar el nucli era al voltant de 10 anys o més.

2.1.4 Avantatges

- Una de les avantatges més considerables són les altes velocitats que el vaixell pot assolir en règim a tota màquina.
- Les plantes nuclears poden ser perfectament implementades a la propulsió de bucs de la marina mercant.
- Aquest tipus de propulsió no genera emissions de CO₂, NO_x, SOX_x.
- Ofereix molta flexibilitat pel que fa referència al disseny del vaixell i en seu cas per tal de poder desenvolupar màximes velocitats.
- El cost del combustible és el cost generat en la construcció i implementació del reactor, cosa que respecte els combustibles derivats del cru.

2.1.5 Inconvenients

- Requereix d'una formació exhaustiva de la tripulació per tal de evitar accident i tenir coneixements dels procediments a seguir en casos de fallades del sistema.
- Es necessària tenir un seguiment i revisions de caràcter important durant la operativa de la planta com també durant la instal·lació i el seu manteniment
- Es necessiten d'instal·lacions en terra especialitzades i experts per a que el vaixell pugui realitzar les operacions pertinents.
- Es requereixen de procediments de seguretat elevats per tal en casos d'accidents nuclear els protocols estiguin revisats i actualitzats.
- Molts ports i per tant molt estats els quals tenen limitacions molt estrictes pel que respecte a la propulsió de caràcter nuclear.

2.2 TURBINA DE VAPOR

2.2.1 Prefaci

S'ha de fer especial menció a la màquina de vapor ja que aquesta va ser la predecessora de la turbina de vapor.

El seu inventor va ser Thomas Newcomen, però entre els anys 1765 i 1790 James Watt va esdevenir el concepte de màquina de vapor com avui dia es coneix. A partir de Watt comença a succeir-se tota mena d'intents per donar-li aplicació en els vaixells.

El 1783 Claude François Dorotheé, va dissenyar un vaixell de vapor de 45 metres de longitud amb rodes ubicades fora del casc en una ubicació lleugera a proa del navili.

A principis del segle 19, Robert Fulton creà un vaixell capaç de navegar pel Sena amb una roda amb paletes com propulsor. L'any 1807 després d'emigrar als Estats Units, va crear un vaixell capaç de remuntar el riu Hudson fins a Albany, una distància total de 240 km.

Els vaixells propulsats per màquines de vapor disposaven d'una màniga molt ample que els feia perfectes per a la navegació en rius de poc calat. Donant a lloc els famosos vaixells a vapor que navegaven pel riu Mississipí.

L'any 1824 Sadi Carnot publicà els seus coneixements sobre el segon principi de la termodinàmica, cosa que va generar la revolució de la propulsió a vapor.

2.2.2 Història

El primer en desenvolupar el concepte de turbina de vapor d'impuls va ser l'enginyer suec Gustaf de Laval l'any 1884. Anys més tard, el 1887 dissenyaria la turbina que constava d'un disc de diàmetre de 15 cm (centímetres) i que girava a una velocitat de 26.000 rpm (revolucions per minut). Finalment la turbina dissenyada per Laval, adoptaria el cognom del seu creador i essent característica per tenir un accionament de gran velocitat i d'un sol escalament

L'any 1884, el britànic Charles Parsons en busca d'un motor marí apropiat va desenvolupar la turbina de reacció de varis escalaments. Era la primera turbina capaç de generar una potència major de 5 CV a raó de 18.000 rpm. Dividia l'expansió del vapor d'aigua en diferents fases, aconseguint així una major eficàcia que la pròpia màquina de vapor. Finalment Parsons construï a l'any 1891 una turbina d'accionament d'un generador elèctric, el qual es convertí en un èxit.

En la figura 18 es pot veure el vaixell propulsat amb turbina de vapor el qual pel moment històric era el més ràpid del món amb una velocitat de 35 nusos per l'embarcació d'eslora de 30m. L'any 1894 va ser construït de manera experimental i va ser el pioner que deixaria una estela de vaixells al darrere amb el mateix sistema de propulsió.

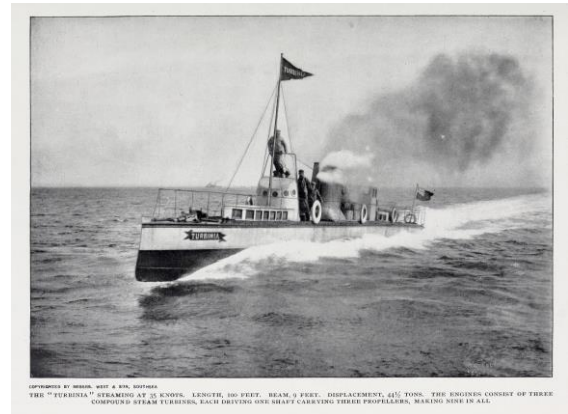


Figura 18. Turbinia primer vaixell propulsat amb turbina de vapor (CTG Publishing)

Charles Gordon Curtis d'origen nord americà, un any més tard del Turbinia va obtenir una patent d'una turbina que combinava roda d'ales fixes i mòbils la qual subministrava una energia de 5000 kW

L'enginyer Rateau va presentar a l'exposició universal de 1900 una turbina de vapor de diverses etapes permetent una disminució de la velocitat però sense perdre potència de la màquina.

Durant els primers anys del segle 20 els vaixells Virginian i Cameria seran dissenyats i construïts amb el tipus de propulsió amb turbina de vapor.

2.2.3 Principi

La turbina de vapor en el sector naval és considerada com una turbomàquina la qual obté treball mecànic a partir de l'energia pròpia del vapor.

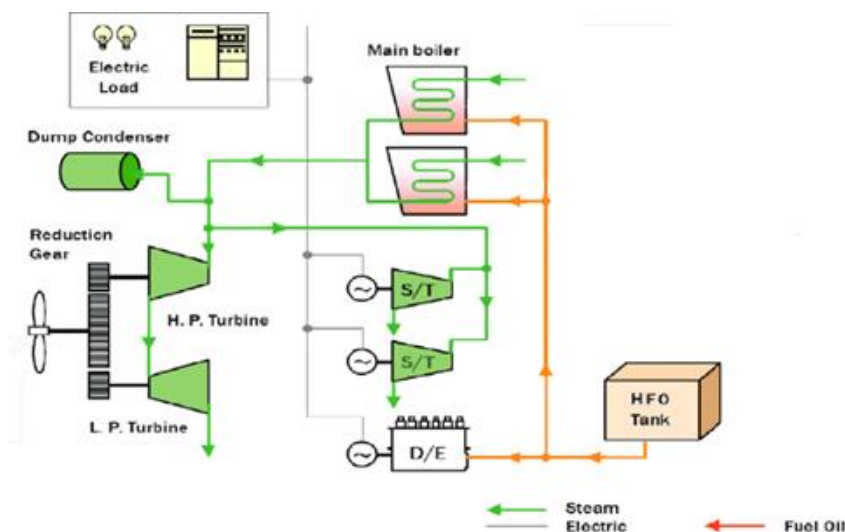


Figura 19. Sistema de propulsió amb turbines de vapor (Options and Evaluations on Prop. of LNG Carr. - Modificada)

En la figura 20 es troba un tipus de sistema que s'emptra per la propulsió a través de turbines de vapor.

El combustible en aquest cas és el heavy fuel oil, aquest és bombejat i prèviament escalfat a una temperatura de 80°C per tal de poder ser cremat correctament a la caldera. Durant el procés de combustió l'aigua és escalfada a altíssimes temperatures, amb la finalitat de produir vapor, augmentant així la seva temperatura i pressió. Dintre de la caldera es subministra aire, concretament en el forn de la caldera perquè la combustió es produeixi de manera correcta. Quan més gran és la superfície entre la càmera de combustió i l'aigua, més calor es transferirà de l'energia de la combustió a l'aigua.

El vapor entra a la turbina mitjançant un broquet per tal de crear un raig d'alta velocitat en direcció cap a les pales de la turbina. La forma de les toveres, que aquestes són fixes formant part de l'estator fan que el vapor quan passa a través d'elles produeixi un canvi de direcció i per tant un canvi de velocitat del raig de vapor. Un canvi de velocitat per a un determinat flux de vapor, produeix el moviment rotatiu dels àleps que aquest són els encarregats de transformar l'energia cinètica en energia mecànica. Vegeu la figura 20 pel funcionament del rotor.

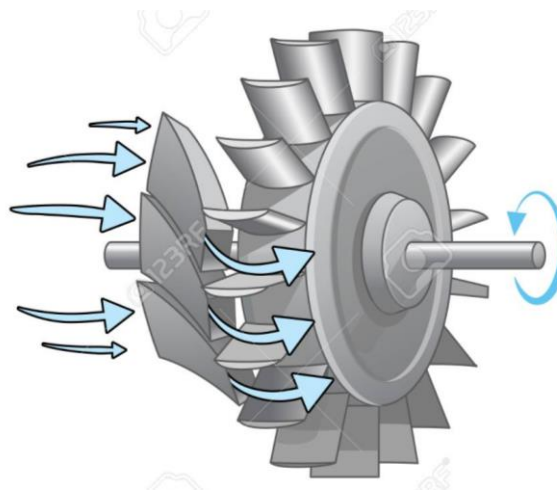


Figura 20. Operació del rotor d'una turbina de vapor (123rf)

Un cop és produït el vapor aquest és subministrat en primera instància a la turbina d'alta pressió, i posteriorment passa a la de baixa pressió. El vapor entra a la turbina amb un alt contingut d'energia i en surt desprenent-se la gran major part.

El vapor un cop expansionat és conduït al condensador per tal de convertir en aigua per a començar de nou el cicle. Tanmateix existeix un condensador ubicat abans de les turbines per tal de reduir dràsticament el caudal de vapor amb un període de temps molt curt. Tanmateix el sistema reparteix la quantitat de vapor mitjançant una línia que va als turbogeneradors que generen electricitat per a la planta del vaixell, que aquesta línia prové de la bifurcació de la línia general de vapor.

2.2.4 Combustibles

El combustible que emprà aquest sistema poden ser de molt tipus diferent i el principal motiu és la caldera que és el lloc on es produeix la combustió del carburant.

La caldera pot cremar tot tipus de combustible des de fuel oils fins a gas. És doncs els combustibles emprats per a la generació de propulsió seran:

- Combustibles residuals
- Combustibles destil·lats (Per aconseguir la pressió d'escalfament del vapor adequada
- LNG

2.2.5 Avantatges

- Generen molta propulsió, cosa que les fa idònies per vaixells els quals necessiten velocitats de navegació.
- Són turbomàquines que garanteixen molta fiabilitat durant l'operativa com la vida útil de la turbina.
- El manteniment a dur a terme és considerat menor en comparació altres sistemes ja mencionats i el preu de reparació també és menor.
- Són màquines més compactes i ocupen menys espai en les sales de màquines respecte a motors dièsel de 2T
- Produeixen menys o quasi cap vibració durant la màquina es troba en operativa.
- La turbina pot proporcionar qualsevol potència a la qual el vaixell requereixi durant les diferents operatives les quals hagi de realitzar.

2.2.6 Inconvenients

- Les turbines de vapor són econòmicament molt més cares que els motors dièsel de 2T.
- Són màquines que consumeixen molt combustible per a generar la propulsió, el seu consum específic és més elevat que altres sistemes.

2.3 COMBINACIÓ DE SISTEMES PROPULSIUS

2.3.1 Història

A partir dels sistemes convencionals es va derivar a la implementació d'emprar dos tipus de sistemes diferenciats o bé iguals per a la propulsió del vaixell en qüestió.

2.3.2 Principi

A continuació s'esmenen les diferents combinacions existents avui dia que es poden emprar en alguns vaixells de la marina mercant.

Per a més informació sobre els tipus de sistemes vegeu la Annex 2. Combinació de sistemes propulsius

.

- CODLAG Combinació de Dièsel Elèctric i Turbina de Gas
- CODAG Combinació de Dièsel i Turbina de Gas
- CODOG Combinació de Dièsel o Turbina de Gas
- COSAG Combinació de Vapor y Turbina de Gas
- COGAG Combinació de Turbina de Gas i Turbina de Gas
- COGOG Combinació de Turbina de Gas o Turbina de Gas
- COGES Combinació de Turbina de Gas i Motor Elèctric

Capítol 3. Marina mercant: Situació actual

Segons la Royal Academy of Engineering estima que el negoci internacional marítim contribueix en emissions de CO₂ aproximadament amb el 3% respecte el global. De totes maneres, la indústria naval ha reduït el seu consum de combustibles implementant motors dièsel termicament més eficients des dels inicis del segle 21 fins a l'actualitat.

En el present, l'any 2020, el negoci marítim representa aproximadament el 95% de les mercaderies és transportada per mar.

Cal mencionar que els bilions de la figura 21 són bilions americans, és a dir són 10⁹ tones de carga, o altrament dit mil milions de tones.

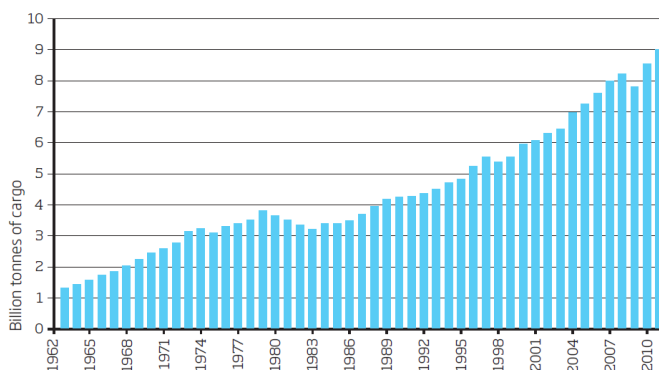


Figura 21. Gràfic: Bilions de tones de carga/Any (Royal Academy Engineering)

Ha quedat ben demostrat que el sector naval presenta un clar augment a partir de l'any 83, el qual es transportava anualment 3 bilions, és a dir 3.000 milions de tones de carga durant aquell any. L'última dada que apareix en el gràfic és del 2011 i nou anys endarrere es transportaven a l'ordre de 9 mil milions de tones de càrrega. A excepció de l'any 2008, el qual la recessió econòmica mundial provocada en la crisi de les hipoteques del passat any va colpejar reduint-ne 500 milions de tones, però es recuperà fàcilment un any més tard.

Actualment, s'està vivint de nou una gran recessió econòmica mundial, el preu del petroli ha caigut en caiguda lliure i per tal de parar les pèrdues països de proliferació s'han posat d'acord per reduir-ne l'extracció degut a l'emergència sanitària mundial per causa de SRAS-CoV-2 o altrament conegut com a COVID-19.

Un cop detallat el preàmbul sobre l'actualitat del sector naval, concretament sobre el negoci marítim i les repercussions en les quals es troba immers la indústria naval, aquesta no ha deixat de generar ingressos i progressos tecnològics.

La propulsió en la marina mercant ha variat en gran mesura durant el passat segle XX. Avui dia, el sistema propulsiu per excel·lència és la propulsió gràcies al motor dièsel. S'ha de tenir ben present actualment és un dels grans costos que un vaixell genera i requerirà en un futur és usar la font de fuel oils com a mitjà de combustible per a la propulsió del vaixell.

No obstant, no es pot mirar a una altra banda respecte el gran creixement de la propulsió elèctrica. Aquesta s'ha de considerar com una de les opcions amb més potencial com una de les propulsions successores pel futur que en depara.

Tanmateix constatar com una possible successora el LNG com a font de combustible, aquesta però en menys mesura, a causa del que implica els inconvenients actuals, detallat en el punt 1.2.5. Tot i així, a dia d'avui es troben amb un gran nombre de vaixells que l'usen, els vaixells que estant patint el procés de conversió a un sistema dual fuel explicat en el punt 1.2.2, com també els de nova construcció. Alhora cada vegada són més els ports que ofereixen la possibilitat de bunkering de gas natural liquat, postulant-se així con una opció seriosa de futur. Vegeu el gràfic de la figura 22 la qual representa la quin és el consum segons el tipus de combustible que es va emprar a l'any 2012

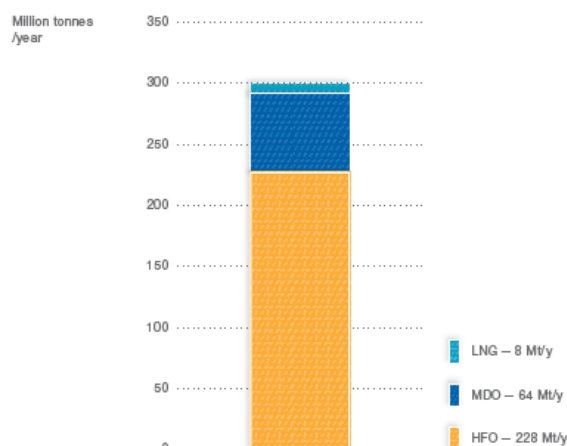


Figura 22. Gràfic: Consum de combustible segons la tipologia, any 2012 (IMO 3rd GHG Study and BP Statistical Review of World Energy)

Tot i la progressió tecnològica que avui dia i durant les últimes dècades s'està avançant, el sector naval es planteja si realment els mètodes que s'estan emprant són els més idonis i sostenibles ja sigui per prendre una decisió amb noves construccions com pels vaixells que es troben en operativa.

Així doncs, avui dia el sector naval es troba en la tessitura de considerar diferents escenaris de futur on es regeixen per tres handicaps o ítems per a ser avaluats al detall, per tal de fer l'aposta segura.

- L'actual pujada del combustible de tipus fuels oils com a conseqüència de l'increment del preu del petroli.

- Les actuals regulacions que s'imposen en el sector naval per tal de mitigar les emissions que col·laboren amb l'efecte hivernacle com el escalfament global.
- La possibilitat que en un futur proper es creïn noves regulacions i taxes sobre el fuel i derivats seus.

En el següent capítol es detallen les qüestions que s'han plantejat en els punts mencionats anteriorment, per tal de clarificar la visió de futur que depara aquest sector, que aquest es mostra clarament prometedora, però amb la incertesa de quina serà la propulsió marina de l'endemà.

Capítol 4. Energies propulsives: Necessitat d'un canvi

4.1 COMBUSTIBLES FÒSSILS

La normalitat del sector naval i el consum de combustible d'aquest, l'any 2012 s'estimava sobre els 300 milions de tones per any. Després de 8 anys, el càlcul el qual s'estima el consum es xifra sobre els 350 milions de tones per any.

A continuació, a la taula 1 es detallen les reserves de barrils de cru, en mils de milions de barrils, a nivell global.

Taula 1. Posicions de països respecte a la reserva de barrils de cru (Elaboració pròpia - CIA World Factbook / 1-4-19)

Posició	País	Barrils de Cru [mils de milions]
1	Veneçuela	300,9
2	Aràbia Saudita	266,5
3	Canadà	169,7
4	Iran	158,4
5	Iraq	142,5
6	Kuwait	101,5
7	Emirats Àrabs Units	97,8
8	Rússia	80
9	Líbia	48,4
10	Nigèria	37,1
11	Estats Units d'Amèrica	36,5
12	Kazakhstan	30
13	Xina	25,6
14	Qatar	25,2
15	Brasil	12,7
Total	Global (15 països)	1532,8

Tot i parlar de reserves mundials en grans xifres, British Petroleum (BP), afirma que aproximadament sumen un total de 1,68 billons, és a dir 1.680 milions de barrils de cru. Segons un estudi de la petroliera britànica amb les dades mencionades anteriorment, estima que amb el ritme de producció i consum de combustibles actual, les reserves s'esgotarien sobre l'any 2067.

En l'informe presentat per la companyia BP no augurava un futur en perspectives de millora, en tot cas indicava que futurs jaciments o nous descobriments de reserves solament podrien allargar la vida del petroli amb un màxim de 10 a 15 anys.

En la figura 23 es pot observar la fluctuació del combustible fuel marí IFO 380 des de la dècada dels 90 fins l'últim quadrimestre de l'any 2012. Aquest tendeix a fluctuar, inclús en el mateix any, i això depèn de variables factors però el predominant és la demanda d'aquest combustible, com a la majoria de fuels oils. Tot i la fluctuació de preu és evident la tendència d'augment de preu la qual ha arribat a pics de fins a 700\$. En el figura 24 es pot comprovar en el gràfic quina ha sigut la davallada del preu del IFO 380 a causa de l'emergència sanitària arribant a estar a 200\$ per tona mètrica.

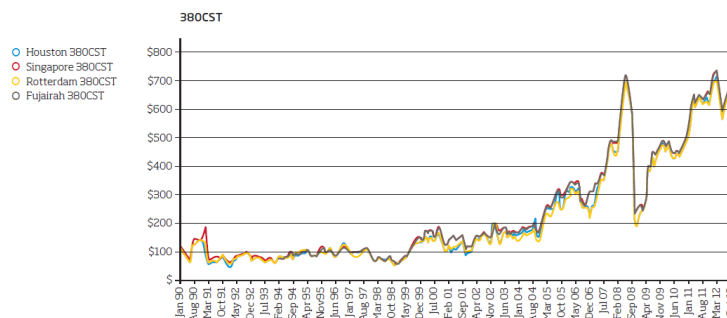


Figura 23. Gràfic: Preu històric del fuel marí IFO 380 CST (Royal Academy of Engineering - Platts)

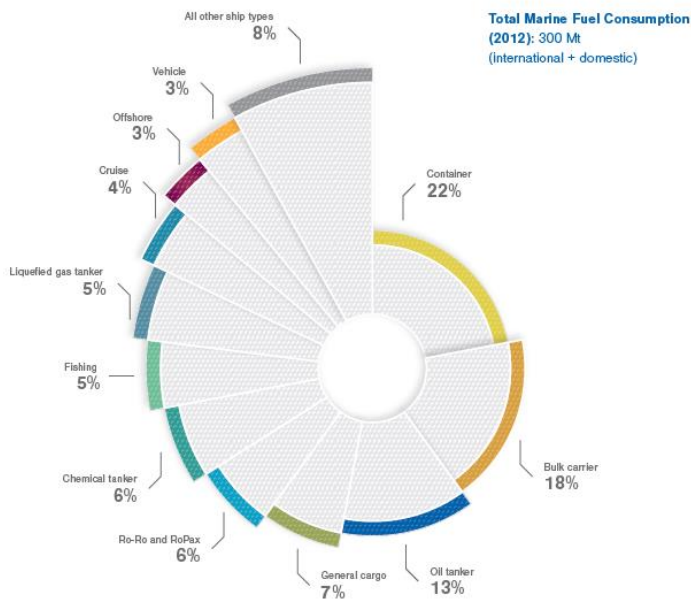


Figura 24. Gràfic: Preu actual del fuel marí IFO 380 (World Bunker Prices)

Consum de combustibles de Fuel Oils:

Per una banda la indústria naval, des d'un principi ja tenia en consideració que els fuel oils són recursos naturals d'origen fòssil i que presenten avui, com en un inici limitacions respecte a la durabilitat d'aquesta font d'energia, en el context que un dia s'esgotarà el petroli, quedant aquest extingit. És ben cert que aquest plantejament no és molt comú en l'actualitat, ja que la vida útil dels vaixells són aproximadament de 25 a 30 anys. Fet que implica que els nous vaixells fabricats amb data actual, el 2020, un cop hagin estat operant i donant servei, essent optimistes fins el 2050, encara podran operar amb fuel oils pel que respecte a reserves d'aquest combustible tenint en consideració:

- El consum d'aquest combustible no s'eleva com a conseqüència del creixement de la producció mundial.
- El consum es manté igual o amb una tendència a la baixa, degut a noves tecnologies.
- El preu del combustible no s'eleva degut a la falta de reserves i l'alta demanda que ocasionaria.



En la figura 25 es pot observar segons l'estudi de Green House Gas realitzat per l'IMO i la estadístiques proporcionades per la companyia BP el consum en tant per cent segons el tipus de vaixell a l'any 2012 essent el total de fuel oils consumits sobre la xifra de 300 milions de tones. Apreciar que quasi una quarta part del consum és donada per porta contenidors i quasi una cinquena part del total per vaixells que transporten mercaderies a granel.

Figura 25. Consum de Fuel segons el tipus de vaixell (IMO 3rd GHG Study and BP Statistical Review of World Energy)

Constatar que és una incertesa, ja sigui per noves normatives (encara més restrictives o d'un caire prohibitives) o degut a les noves tecnologies, o la falta de reserves per un alt increment del consum, que els combustibles derivats del petroli es deixin d'usar abans del 2050/2060.

Cost del combustible Fuel Oils:

Per una altra banda, avui dia i des de fa una dècada el sector naval mostra una preocupació, cada vegada més, per la visió de futur en clau del cost dels combustibles. S'estima que la despesa en combustible ronda el 50 fins el 60% del total de costos de funcionament del vaixell, el qual implica menys marges de beneficis.

Com s'ha demostrat en la figura 23 la tendència a l'alça del preu dels combustibles derivats del petroli és un fet. El futur és incert pel que respecte els fuel oils però poden donar-se diferents escenaris:

- El consum de fuel oils en el sector naval creix i com a conseqüència el preu tendirà sempre a l'alça, menys en períodes de recessió provocats per futures noves crisis. Provocarà que les reserves de barrils de cru comencin escassejar abans del que estima la companyia britànica BP.
- El consum de fuel oils és manté constant fet que comportarà un petit allargament de la vida dels fuel oils i aquests estaran subjectes a les fluctuacions dels preus segons la demanda del mercat i a mesura que aquest comenci escassejar augmentarà en considerable el seu preu.
- El consum de fuel oils descendirà com a conseqüència d'esdeveniments incerts, com normatives, o la implementació de noves tecnologies, o l'escassetat de recursos.

Combustible LNG:

Pel que respecte aquest tipus de combustible el rodeja una certa incertesa, tot i els bons rendiments que aquest està obtenint en clau de normatives. No s'ha d'obviar que avui dia els grans desavantatges que té aquest tipus de combustible fan que tant armadors com la indústria naval els hi faci respecte bàsicament per la xarxa de distribució i la quantitat d'enginyes qualificats per a poder fer un ús del LNG. Tot i això comença apreciar-se una tendència positiva però no molt significativa dels vaixells tant en nova construcció com d'altres que estant operant decideixen adaptar-se aquest tipus de combustible.

Malgrat els inconvenients mencionats que generen aquest clima d'incertesa no es pot negar l'evidència de la demanda actual que existeix de LNG com a font de combustible, aquesta s'ha vist augmentada respecte a l'anterior dècada, com també mencionar les ràpides adaptacions que s'estan portant a terme diferents ports mundials per tal de poder fer front l'increment de demanda d'aquest combustible.

Finalment no es pot obviar que el LNG no deixa de ser un combustible fòssil d'origen natural, per tant aquest és finit tot i ser una molt bona solució de cara el futur més proper pel que respecte a les normatives d'emissions.

4.2 NORMATIVES D'EMISSIONS

4.2.1 Introducció

La indústria marítima és el sector dintre de l'àmbit del transport de mercaderies el qual està considerat el menys contaminant de tots respecte a la quantitat de carga transportada en proporció a les emissions que aquest genera durant el trajecte.

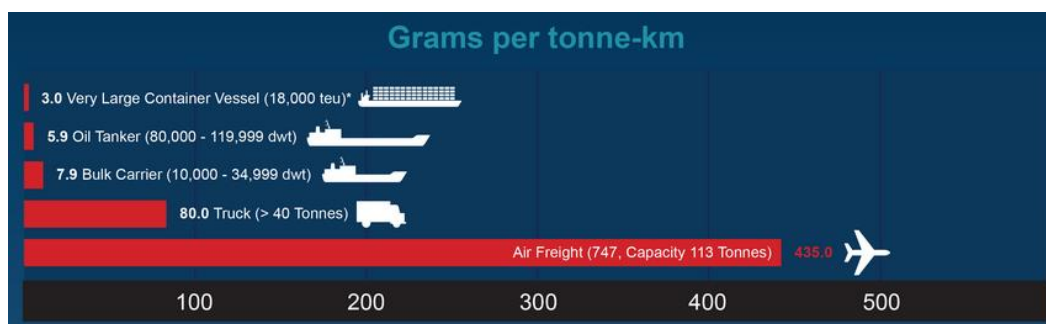


Figura 26. Gràfic d'emissions de carboni [Grams CO₂/Tona-Km] (ICS International Chamber of Shipping)

La International Maritime Organization (IMO) és l'organització internacional encarregat de la contenció i prevenció de la contaminació del medi ambient provinent dels vaixells. L'Organització van desenvolupa

el conveni internacional MARPOL el qual entrà en vigor l'any 1983 i estipulava bàsicament les restriccions i limitacions per a la prevenció de la contaminació i la reducció de la mateixa en cas de donar-se en el medi marí.

El any 2005 entrà en vigor l'Annex VI on es legislaven les restriccions i límits de les emissions de NO_x i SO_x produïdes pel sector. L'Annex té per títol Prevenció de la contaminació atmosfèrica generada pels vaixells.

4.2.2 Tipus d'emissions

Durant el procés de combustió es produeix una reacció química on la barreja d'aire i combustible dona lloc als gasos d'escapament, a les partícules no cremades i compostos orgànics volàtils els quals contribueixen als problemes mediambientals àmpliament coneguts com l'escalfament global i l'efecte hivernacle. Es poden distingir els següents gasos d'escapament.

- Diòxid de carboni (CO₂)

Aquest gas es dona com a conseqüència de la combustió entre la font de combustible, és a dir el carburant i el comburent, l'aire. Quan es produeix la reacció química amb la temperatura elevada les molècules d'oxigen de l'aire i les de carboni dels hidrocarburs tendeixen a l'associació entre elles.

Quan el diòxid de carboni és alliberat al medi ambient aquest afavoreix amb el denominat efecte hivernacle. S'entén com el procés on les molècules de CO₂ contribueixen a retenir a l'atmosfera part de l'energia que el propi planeta emet com a conseqüència de la radiació solar, provocant doncs un excés d'emmagatzematge d'energia en la pròpia atmosfera provocant doncs, un escalfament de la Terra.

S'estima que el negoci marítim contribueix només amb el 3% de les emissions totals de CO₂. Tot i així per tal de reduir les emissions d'aquest tipus la IMO implementà mesures, que aquestes es basen en l'eficiència energètica. Vegeu el punt 0 per a més informació sobre l'eficiència energètica i les seves normatives.

En la figura 27, es troba el gràfic d'emissions de diòxid de carboni en milions de tones durant el període de 2007(en blau fort) fins l'any 2012 (en taronja). Es pot comprovar en el gràfic que respecte el primer any de l'estudi s'han reduït les emissions o bé s'han mantingut quasi iguals, en excepció dels creuers que aquest any rere any han augmentat les emissions de CO₂.

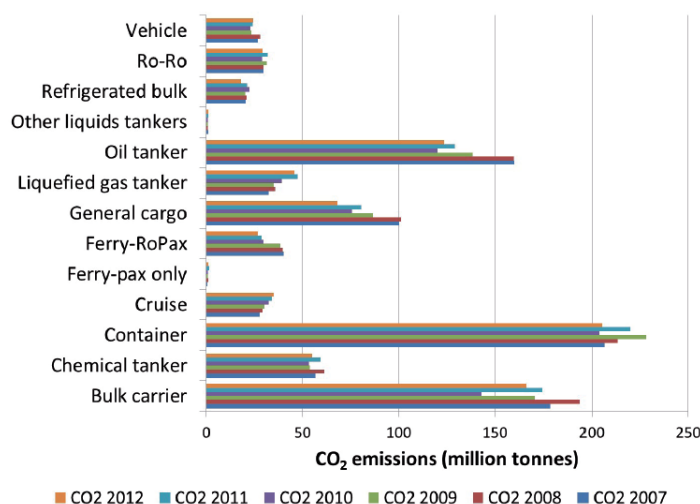


Figura 27. Gràfic: Emissions de CO₂ [Milions de tones] per tipus de vaixell (Third IMO Greenhouse Gas Study 2014)

- Òxid de nitrogen (NO_x)

Aquest és un tipus de gas d'escapament que també es pot trobar en la combustió i estan formats per la combinació de nitrogen i oxigen en el procés de combustió i depèn concretament de factors com les pressions i temperatures en la càmera de combustió dintre del cilindre. Es denominat NO_x ja que es poden trobar de diferents compostos, com el NO, N₂O, NO₂, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅. Cada un d'ells comporten una sèrie de conseqüències pel medi ambient com els següents:

- Pluja àcida

Es genera àcid nítric quan el NO₂ és barrejat amb aigua, creant doncs àcids perjudicials pel medi ambient matant vegetació i per conseqüència natura.

- Ozó troposfera

El N₂O es descompon per mitjà de la llum ultraviolada en la troposfera generant O₃, que és perjudicial per a la salut humana i contribueix en l'efecte hivernacle.

- Reaccions tòxiques

Les reaccions tòxiques es donen al barrejar-se els compostos mencionats amb altres elements produeixen reaccions químiques que són perjudicials pel medi com per a la vida humana

- Desgast de la qualitat de l'aigua

És una conseqüència més de la pluja àcida que al arribar al sòl es formen sals que empobreixen la qualitat que més tard acabaran al subsòl per vies fluvials que finalment arribaran a les aigües subterrànies alterant-les de manera tòxica per a la vida.

- Òxid de sofre (SO_x)

El fuels i derivats com els dièsel contenen sofre el qual és emès a l'atmosfera com a òxids de sofre un cop aquests combustibles són cremats a les calderes o els mateixos motors marins. Aquest gas com els altres mencionats té un impacte negatiu per a la vida humana i també és un dels causants de la pluja àcida. Normalment es poden trobar els següents compostos provinents de la combustió, el SO_2 i SO_3 essent el més comú d'ells el diòxid de sofre ja que el tri-òxid acabarà per convertir-se en àcid sulfúric H_2SO_4 .

A continuació es mostren dos gràfiques referents a les emissions d'òxids de sofre. Per una banda, la figura 27 es troben les quantitats d'emissions globals de SO_2 des de l'any 1850 fins a l'actualitat, juntament amb la perspectiva de futur pels pròxims 80 anys on s'estima que la reducció d'aquest tipus d'emissions es vegi quasi reduïda 3 vegades des del pic dels anys 1980. Pel que respecte el sector marítim es reflexa en el gràfic de color blau fluix, mentre clarament s'observa que la indústria i l'obtenció d'energia són les principals fonts d'emissions en l'actualitat i es afirma que ho són des de la dècada dels 40 i 50 del segle XIX.

Per l'altra banda, es troba les emissions globals de sofre segons la procedència d'aquestes. En la primera columna es troben les emissions antropogèniques, es a dir les causades pel humans excloent la del sector marítim que es troba en la segona columna. En la tercera columna es troba la biomassa cremada i en la quarta i cinquena s'hi troben les emissions produïdes pels volcans i oceans respectivament i per última columna es troba la biota terrestre i sòls. Cal remarcar que una tona de sofre a l'atmosfera és equivalent a dues tones de SO_2 .

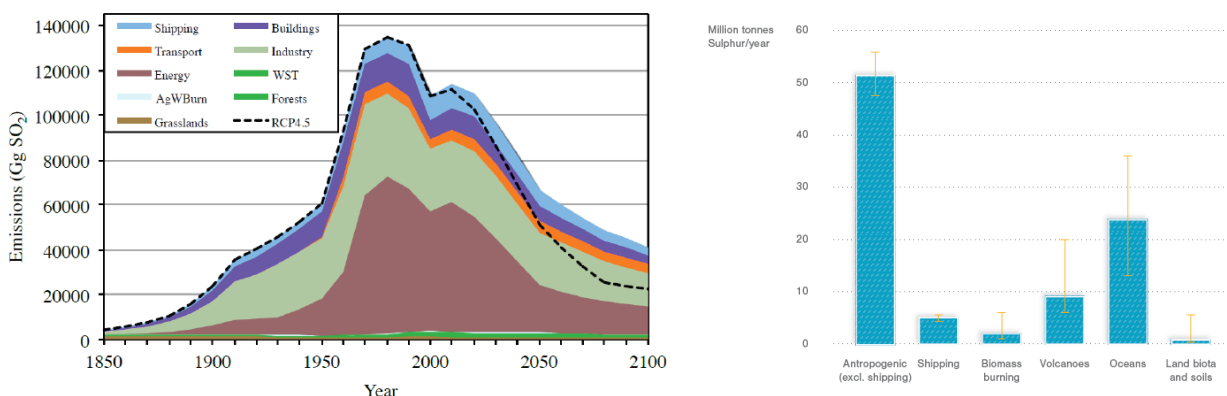


Figura 28. Gràfic: Emissions globals de SO_2 [100Gg = 1 Mt] (S.J. Smith and T.C. Bond Two hundred fifty years of aerosols and climate: the end of the age of aerosols) - Imatge esquerra

Figura 29. Gràfic: Emissions globals de sofre a l'atmosfera any 2011 (Marine Fuel Facts - Concawe) - Imatge dreta

4.2.3 Normatives associades a les emissions

Marpol (Annex VI): Prevenció de la contaminació atmosfèrica generada pel vaixells

- Diòxid de carboni (CO₂)

En el capítol 4 de l'annex VI del conveni MARPOL tracten les emissions de CO₂ provinents del transport marítim. Aquestes no estan regulades com a tal sinó que tracten de ser únicament reduïdes amb el clar objectiu de minimitzar-les però sense imposar un límit de tones els quals els vaixell puguin emetre durant les operacions.

Per tal d'aconseguir els objectius de reduccions d'emissions la IMO va implementar una sèrie de mesures les quals es basen en l'eficiència energètica amb l'objectiu de millorar les eficiències, la d'operativa del vaixell com la de la màquina propulsora. Vegeu el punt 0 per a l'explicació en detall de com es regula i quins són els índex que proposa la IMO pels vaixells de la marina mercant.

- Òxid de nitrogen (NO_x)

Pel que respecta a les emissions de NO_x la IMO d'acord amb la regulació 13 indica que els vaixells que disposin de motors dièsel amb una potència superior de 130kW() o bé motors que han estat en un procés de re-conversió o bé modificats amb una potència superior de 130kW ha de complir la normativa vigent.

Els motors dièsel han de complir aquesta normativa i requereixen d'un certificat anomenat Engine International Air Pollution Prevention Certificate (EIAPP) que traduït al català vindria a ser el Certificat Internacional de Motor de Prevenció de la Contaminació Atmosfèrica.

Per tal d'obtenir el certificat és precís de realitzar tests i procediments per tal de determinar amb exactitud les emissions d'òxids de nitrogen i si aquests compleixen amb la normativa, aquest document és imprescindible que es trobi a bord en cas d'inspecció.

En la normativa número 13 estableix tres nivells el quals estableix un límit d'emissions de NO_x que poden emetre els motors dièsel depenen de la velocitat nominal de funcionament.

Nivell 1 afecta els vaixell de nova construcció des de l'1 de gener del 2000 fins a l'1 de gener del 2011.

Nivell 2 afecta els vaixells de nova construcció després del 1 de gener del 2011.

Nivell 3 afecta als vaixells de nova construcció a partir del primer d'any del 2016 i els requisits que si apliquen també es poden trobar en les zones Emission Control Areas (ECA) que s'expliquen en el punt Zones ECA

Les denominades zones ECA, Emission Control Areas, o altrament denominades SECA, Sulfur Emission Control Areas són les àrees les quals estan subjectes a uns controls d'un caràcter bastant restrictiu que van ser establertes per tal de reduir les emissions dels vaixells en l'annex VI del Marpol.

La regulació es regeix per unes limitacions més estrictes les quals es poden veure a continuació en contingut de sofre en tant per cent de massa a massa.

Abans de l'1 de gener del 2010 no es podia superar un límit d'1,5% m/m.

Després de l'1 de gener del 2010 no es podia superar la limitació de 1,0% m/m.

Després de l'1 de gener del 2015 no es poden superar el 0,1% m/m,

En la figura 30 es pot observar el mapa de les zones ECA. Es troben entre elles les següents zones les quals unes estan regides pel control d'emissions únicament de SOX o bé, un control d'emissions tant de NOX i com de SOX:

Àrea de la costa Pacífica dels Estats Units d'Amèrica (EUA) i de Canadà (NOX i SOX)

Àrea de la costa Atlàntica dels EUA, de Canadà i França (Saint-Pierre et Miquelon) (NOX i SOX)

Àrea de la costa del Golf de Mèxic dels EUA. (NOX i SOX)

Àrea del mar de les costes de les illes de Hawaii (Hawaii, Maui, Oahu, Molokai, Niihau, Kauai, Lānai, and Kahoolawe) (NOX i SOX)

Àrea del mar del Carib, zona del EUA. (NOX i SOX)

Àrea del mar Bàltic (SOX)

Àrea mar del Nord (SOX)

Taula 1. Límits d'emissions de NOx segons nivell (Elaboració pròpia - IMO, 2011a)

Nivell	NO _x Límits [g/kWh]		
	n < 130 rpm	130 rpm ≤ n ≤ 2000 rpm	n ≥ rpm

Nivell 1	17,0	$45 \cdot n^{(-0,2)}$	9,8
Nivell 2	14,4	$44 \cdot n^{(-0,23)}$	7,7
Nivell 3	3,4	$9 \cdot n^{(-0,2)}$	2,0

La IMO pretén doncs reduir entre un 15 fins un 20% les emissions dels òxids de nitrogen en aigües internacionals i en les zones ECA, més restrictives, reduir-les fins a un total del 80%.

- Òxid de sofre (SO_x)

La normativa número 14 estableix que el contingut de sofre de qualsevol fuel oils marins que s'emprin en vaixells i naveguin en aigües internacionals no podran excedir en contingut de sofre en tant per cent massa a massa de la següent limitació:

Abans del primer d'any del 2012 no es podia excedir un 4,5% m/m.

Després del primer d'any del 2012 no es podria excedir més d'un 3,5% m/m.

A partir del primer d'any del 2020 no es poden excedir més d'un 0,5% m/m. Actualment ja ha entrat en vigor.

- Zones ECA

Les denominades zones ECA, Emission Control Areas, o altrament denominades SECA, Sulfur Emission Control Areas són les àrees les quals estan subjectes a uns controls d'un caràcter bastant restrictiu que van ser establertes per tal de reduir les emissions dels vaixells en l'annex VI del Marpol.

La regulació es regeix per unes limitacions més estrictes les quals es poden veure a continuació en contingut de sofre en tant per cent de massa a massa.

Abans de l'1 de gener del 2010 no es podia superar un límit d'1,5% m/m.

Després de l'1 de gener del 2010 no es podia superar la limitació de 1,0% m/m.

Després de l'1 de gener del 2015 no es poden superar el 0,1% m/m,

En la figura 30 es pot observar el mapa de les zones ECA. Es troben entre elles les següents zones les quals unes estan regides pel control d'emissions únicament de SO_x o bé, un control d'emissions tant de NO_x i com de SO_x :

Àrea de la costa Pacífica dels Estats Units d'Amèrica (EUA) i de Canadà (NO_x i SO_x)

Àrea de la costa Atlàntica dels EUA, de Canadà i França (Saint-Pierre et Miquelon) (NO_x i SO_x)

Àrea de la costa del Golf de Mèxic dels EUA. (NO_x i SO_x)

Àrea del mar de les costes de les illes de Hawaii (Hawaii, Maui, Oahu, Molokai, Niihau, Kauai, Lānai, and Kahoolawe) (NO_x i SO_x)

Àrea del mar del Carib, zona del EUA. (NO_x i SO_x)

Àrea del mar Bàltic (SO_x)

Àrea mar del Nord (SO_x)

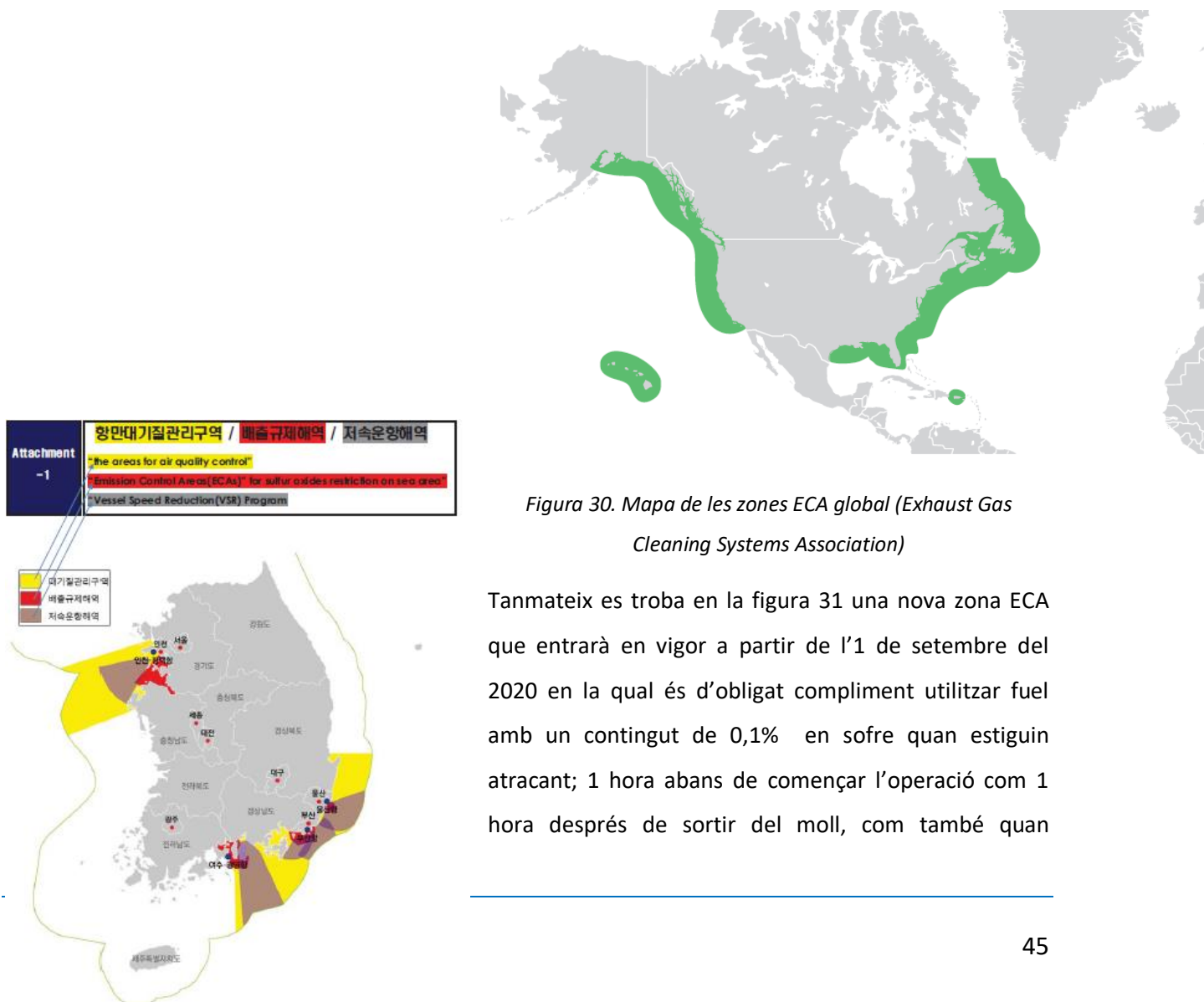


Figura 30. Mapa de les zones ECA global (Exhaust Gas Cleaning Systems Association)

Tanmateix es troba en la figura 31 una nova zona ECA que entrarà en vigor a partir de l'1 de setembre del 2020 en la qual és d'obligat compliment utilitzar fuel amb un contingut de 0,1% en sofre quan estiguin atracant; 1 hora abans de començar l'operació com 1 hora després de sortir del moll, com també quan

estiguin ancorats; 1 hora abans de completar l'operació d'ancorar com 1 hora posterior al aixecar l'àncora.

A partir de l'1 de gener del 2022 serà per normativa obligatori usar el fuel oil amb un màxim de 0,1% de contingut de sofre durant la navegació en la zones delimitades: Incheon, Pyeongtaek, Dangjin àrea, Yeosu, Gwangyang àrea, Busan, Busan (Oest) àrea i Ulsan àrea

Figura 31. Mapa de la nova zona ECA - Korea del Sud (DNV-GL)

En la figura 32 es troba el mapa de la nova zona ECA la qual va ser publicada el 6 de desembre del 2018 per entra en vigor el primer d'any del 2019.

A partir del 2019 les costes Xineses delimitades en el mapa havien d'usar un combustible el qual no excedeixi més d'un 0,5% m/m en contingut de sofre.

A partir del passat 1 de gener del 2020 el contingut de sofre no podrà superar el límit establert en 0,1% m/m. A partir del 1 de gener del 2022 també s'aplicarà a l'illa de Hainan. El govern Xinès avaluarà les mesures empreses, i a partir del 2025 implementarà a tota la costa xinesa la limitació del 0,1%.

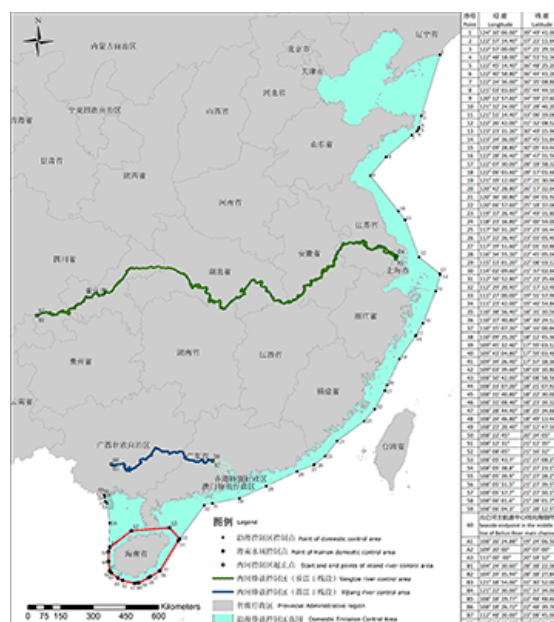


Figura 32. Mapa de la nova zona ECA - Xina (DNV-GL)

Pel que respecte a les emissions de NO_x el ministeri de transport xinès que tots els motors dièsel instal·lats a bord d'un vaixell importat que es dediqui el comerç intern haurà de complir els límits d'emissions de l'IMO en el nivell II i serà d'obligat compliment tant per vaixells importats (segona mà o propietaris internacionals) com vaixells amb la bandera xinesa els quals participin de transport intern.

- Directiva Europea: 2012/33/EU

La legislació europea té com a principal objectiu de reduir les emissions de SO₂ de les costes europees i en conseqüència reduir les emissions perjudicials de SO_x. La regulació estima un límits del contingut de sofre dels combustibles que s'emprin dintre del territori dels estats membres de la Unió Europea (UE). Estableix els següents límits:

A partir del 18 de juny del 2014 el màxim contingut de sofre no podia excedir el 3,5% m/m.

L'actual normativa que va entrar en vigor el passat 1 de gener del 2020 el màxim contingut no pot excedir el 0,5% m/m.

Pel que respecte a les zones ECA establertes en l'àrea del mar Bàltic i l'àrea mar del Nord, com també zones econòmiques de caràcter exclusiu legisla les següents limitacions respecte als nivells de sofre que poden contenir els combustibles emprats en les zones esmentades:

No podien superar el 1,0% m/m en contingut fins l'últim dia de l'any del 2014.

Avui dia, les zones esmentades la limitació és la que estableix les zones ECA les quals no poden superar en contingut de 0,1% m/m. La restricció entrà en vigor des del passat 1 de gener del 2015.

Tanmateix la legislació contempla que vaixells de passatge que operen en línies regulars de qualsevol port de la UE, en mars territorials, zones econòmiques i exclusives com també zones ECA dels estats membres no podran excedir el contingut en sofre de 1,5% m/m fins el passat primer d'any del 2020, en conseqüència ha entrat en vigor que avui dia el màxim contingut sigui de 0,1% m/m per a vaixells de passatge en línies regulars.

4.3 NORMATIVES D'EFICIÈNCIA ENERGÈTICA

4.3.1 Prefaci

Primer estudi dels gasos d'efecte hivernacle - IMO any 2000

La convenció del MARPOL duta a terme a l'any 1997 sobre la Contaminació Marina va concloure en realitzar un estudi en relació a les emissions de CO₂ que provenen dels vaixells amb la finalitat de poder establir la quantitat que el sector naval contribuïa dintre del conjunt global de gasos d'efecte i hivernacle. Aquell estudi va ser presentat els resultats l'any 2000 al Marine Environment Protection Committee (MEPC) i dels quals es poden extreure diferents resultats.

Un d'ells va ser la gran quantitat de CO₂ que s'emetia al voltant de la xifra de 400 milions de tones, fet que va causar les primeres propostes per tal de reduir les emissions. Es van plantejar dos tipus de mesures, unes tractaven sobre les mesures tècniques i per una altra banda, les caire operacional.

Pel que respecte a les de caire operacional es basaven sobretot en aspectes com podien ser l'elecció de l'hèlix correctament com també el disseny del casc per un òptim efecte hidrodinàmic i un correcte manteniment, entre altres, i l'esperança de millora, és a dir de reducció comprenia entre un 5% en la visió més pessimista mentre que l'optimista augurava pronòstics del 30%

Mentre que les mesures operacionals miraven de reduir les emissions de CO₂ mitjançant una correcta planificació amb les rutes, les rpm constants, com l'òptima manipulació de la càrrega, entre altres mesures i els pronòstic auguraven un rang de reducció d'emissions al voltant del 1 fins el 40%.

Segon estudi dels gasos d'efecte hivernacle - IMO any 2009

En el segon estudi realitzat per la IMO presentat al 2009 al MEPC la seva finalitat principal era la de re-avaluar les emissions, proporcionant les més actuals i amb una visió més de futur que en la primera edició.

Fent la comparativa entre els càlculs d'emissions de CO₂ obtinguts amb la segona edició respecte la primera, els resultat era clarament molt superior, tant que el doblava. La xifra obtinguda d'emissions rondava a les 1.046 Milions de tones. S'ha de mencionar que per obtenir els resultats d'emissions van diferir amb el mètode de càlcul de la primera edició. Bàsicament en el segon estudi van multiplicar el consum de combustible global del sector per un factor d'emissió.

En el mateix estudi va concloure's per primera vegada la idea d'adoptar polítiques delimitació de caràcter obligatori de les emissions de diòxid de carboni mitjançant les mesures sobre l'eficiència energètica.

- Un obligat límit en el Índex de Disseny d'Eficiència Energètica, en anglès Energy Efficiency Design Index (EEDI).
- Notificació obligatòria o voluntària del índex EEDI per a vaixells nous.
- Notificació obligatòria o voluntària del Indicador Operacional d'Eficiència Energètica, en anglès Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI).
- L'ús voluntari o obligatori d'un Pla de Gestió d'Eficiència del Vaixell, en anglès Ship Efficiency Management Plan (SEMP)
- Límit obligatori del indicador EEOI i en cas d'incompliment d'aquest una sanció.
- Creació d'un Pla de Comerç d'Emissions Marítimes, en anglès Maritime Emissions Trading Scheme (METS).
- Creació d'un Fons d'Indemnització Internacional, en anglès International Compensation Fund (ICF) que serà finançat per impostos sobre els combustibles marins.

Tercer estudi dels gasos d'efecte hivernacle - IMO (Consorti d'Organitzacions) any 2014

En el últim estudi realitzat sobre el transport marítim i els efectes que aquest causa en el medi ambient i contribueix l'efecte hivernacle va ser impulsat per la IMO però va ser dut a terme per diferents organitzacions liderat per la Universitat College of London. El membres del consorci per tal de desenvolupar el tercer estudi van ser de països diversos com: Regne Unit, EUA, Finlàndia, Xina, Japó, Holanda, Índia i Canadà.

Aquest estudi exhaustiu té la finalitat d'informar de:

- Les emissions durant el període del 2007 fins al 2012 i la relació significativa amb altres emissions antropogèniques.
- Donar resolució a la quantitat d'emissions que s'emeten que provenen del sector i mostrar certa incertesa sobre els mètodes de càlculs envers les anteriors edicions.
- Mostrar la comparativa dels càlculs i resultats obtinguts entre la segona edició i la tercera.
- Mostrar les tendències i dispositius dels fuels marins que s'empren durant l'etapa de cinc anys (2007-2012).

- Finalment mostrar els futurs escenaris que el sector naval el deparà fent una visió fins a la meitat del segle XXI.

4.3.2 Índex de Disseny d'Eficiència Energètica (EEDI)

L'índex EEDI és un element proporcionat als vaixells de nova construcció de més de 400 Gross Tonnage (GT), en català Arqueig. Aquest índex va entrar vigor des de l'1 de gener del 2013, amb l'objectiu prioritari de reduir les emissions de CO₂ amb diferents mètodes ja sigui a través de la creació de nous motors més eficients, o bé un equipament òptim i dispositius que ajudaran al vaixell a emetre menys quantitat.

L'EEDI és un índex que els vaixells nous han de complir amb el valor, que pot ser igual o inferior, ja establert segons el tipus de vaixell. L'índex proporciona una informació de la relació entre les emissions de CO₂ i la capacitat de càrrega transportada per milla nàutica. Per la l'obtenció de l'índex es fa per mitjà de la fórmula de la figura 32 la qual utilitza el consum del motor com el de l'auxiliar, el tipus de combustible que empra tant el principal com el auxiliars, el pes mort la velocitat de creuer entre altres, per tal de determinar si un vaixell nou es regeix per la normativa establerta.

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + \left(P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) + \left(\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{nEff} f_{Eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left(\sum_{i=1}^{nEff} f_{Eff(i)} \cdot P_{Eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot f_1 \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref}}$$

Figura 33. Fórmula: Càlcul de l'índex EEDI ([MEPC.245 \(66\)](#))

Per a més informació detalla i com es desglossa la fórmula vegeu l'enllaç que s'ubica en la font de la figura 32.

Possibles millores per tal de reduir l'índex EEDI:

- Realitzar un correcte revestiment del buc.
- Optimització hidrodinàmica de la forma de casc i correctes dimensionaments.
- Millorar els motors perquè aquests siguin més eficients i tinguin menys consum específic.
- Correcte elecció de l'hèlix com la seva optimització per un flux òptim.
- Implementar i fomentar la propulsió elèctrica i propulsió híbrida.
- Recuperació de la calor residual ja sigui en els gasos d'escapament del motor com també de les calderes o vapor en cas de les turbines.

- Emprar coma font de combustible el gas natural líquat.
- Reducció de la demanda de potència a bord
- Funcionament a velocitat variable per a bombes, ventiladors, etc.
- Fomentar l'obtenció d'energia mitjançant energies renovables, com la eòlica o solar.

Des de l'entrada en vigor de la nova normativa les emissions de CO₂ s'han vist reduïdes fins a un 10%. A mesura del pas del temps i una aplicació d'un índex EEDI més restrictiu la IMO estima que l'any 2030 es redueixin unes 400 milions de tones anuals de diòxid de carboni que representa entre el 20 i 25% menys que s'estan donant actualment.

4.3.3 Pla de Gestió de l'Eficiència Energètica del Vaixell

El pla de gestió o altrament dit SEEMP és una de les normatives que la IMO va aplicar en referència a la reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle. El pla consisteix en una mesura operacional que estableix un mecanisme per tal de millorar l'eficiència energètica del vaixell de manera rentable.

En la resolució [MEPC 282\(70\)](#) adoptada a finals de l'octubre del 2016, el pla es divideix en dues parts, la primera proporciona un enfocament a la monitorització de la eficiència en clau de rendiment del vaixell al llarg del temps i algunes opcions que seran considerades per tal d'optimitzar el rendiment.

Per altra banda, la segona part del pla presenta les metodologies dels vaixells d'igual o superior a 5.000 tones d'arqueig han d'emprar per a recollir les dades requerides amb la regla 22A de l'Annex VI del Marpol com també els processos que el vaixell ha d'usar per tal d'informar a l'Administració del vaixell o qualsevol entitat amb la deguda autorització.

Part 1:

Marc i estructura del SEEMP: Vegeu Annex 3. Exemple d'un SEEMP

Per un exemple de SEEMP i Consum de Fuel Oil

- Planificació

És l'etapa més importat de la part 1, ja que determina principalment tant l'estat actual de l'ús d'energia que fa el vaixell com per la millora prevista de l'eficiència energètica. És per això que

la guia per a la implementació del SEEMP estableix les següents condicions o aspectes a tenir en gran consideració a l'hora d'elaborar la planificació del vaixell.

- Dimensions específiques pels vaixells
- Mesures específiques per a les empreses
- Desenvolupament de recursos humans
- Establiment d'objectius

- Implementació

En aquesta fase és necessari concretar quin seran els plans per tal de realitzar el canvis suficients tant les seves operacions com també la seva gestió. Tanmateix ha d'incloure les directrius a seguir amb l'establiment del sistema d'aplicació com també l'aplicació de les mesures i guardar-ne un registre.

En aquesta fase del SEEMP s'ha d'incloure:

- La publicació del SEEMP
- Assignar responsabilitats
- Realitzar els canvis als processos i sistemes que siguin considerats oportuns
- Formar als membres de la tripulació i el personal de terra.

- Monitorització

En aquesta fase del SEEMP és probablement la més crucial si més no ja que sense el recull de les dades pertinents tot el pla de gestió no podria després avaluar-se ni saber si s'arriben els objectius plantejats anteriorment en el pla.

La guia estableix dos punts a tenir en consideració:

- Les eines de monitorització (Emprar l'índex EEOI)
- Establir el sistema de monitorització
- Busca i recat (Les dades obtingudes es poden registrar apart)

- Autoavaluació i millora

És la última fase del pla la qual té com a finalitat avaluar l'efectivitat de les mesures que s'han planejat i de les que finalment s'han implementat. Tanmateix ha de servir per proporcionar una informació significativa per tal d'elaborar la pròxima primera fase del segon cicle del SEEMP.

L'autoavaluació ha de ser periòdica emprant les dades recollides en la monitorització.

Part 2:

Pla de col·lecció de dades del consum de combustible de navegació.

- Consum de fuel oil

EL consum de fuel oil ha d'incloure tot el fuel oil que s'hagi consumit a bord tant per motors principals com auxiliars, turbines de gas, calderes i generadors de gas inert per cada tipus de combustible emprat i independentment si el vaixell està en navegació o no. Els mètodes de recollida de dades sobre el consum anual de fuel oil es descriuen a continuació

- Mètode Bunker Delivery Notes (BDN), Notes d'entrega de "bunker".

Determina la quantitat anual de fuel oil és entregat al vaixell i queda registrat les notes d'entrega el qual és destinat per propòsits afins a la combustió a bord.

- Mètode emprant mesuradors de flux

Aquest mètode determina la quantitat anual de fuel oil consumit mesurant el flux de fuel emprant els mesuradors de flux.

- Mètode emprant la monitorització dels tancs de "bunker" de fuel oil

Mètode que determina el consum anual amb la suma total dels consums per cada dia de l'any mesurat per lectures dels tancs automatitzades.

- Factor de conversió

En cas d'emprar un combustible el qual no estigui en la resolució MEPC 245 (66) el proveïdor haurà de subministrar un factor de conversió per tal de poder realitzar els càlculs correctament.

- Distància recorreguda

La distància recorreguda ha de ser registrada en milles nàutiques. Altres mètodes de mesurar la distància hauran de ser aplicats si l'administració ho accepta.

- Hores en camí

Han de quedar anotades in presentades degudament a l'Administració.

- Qualitat de les dades

La recollida de dades ha de presentar un procediments de qualitat i estar sotmesos a controls de qualitat els quals estarà inclosos en el pla de gestió

- Format estàndard per l'informe a presentar

Les dades recollida des s'hauran de comunicar mitjançant un formulari normalitzat elaborat per la IMO de manera electrònica

4.3.4 Indicador Operacional de l'Eficiència Energètica

El EEOI ha de ser un valor representatiu de l'eficiència energètica de l'operació del vaixell durant un període consistent que representi la pauta general d'operativa del vaixell. Per tal d'obtenir l'índex operacional requerirà del següent

Definir el període per el que es calcula el EEOI*.

Definir les fonts de dades per a la correcte recollida d'elles.

Recopilar les dades les dades.

Convertir les dades en el format correcte.

Calcular el EEOI

*S'haurà de considerar que el viatges de llast com els que no s'usen pel transport de càrrega, com per a servei d'acoblament han d'estar inclosos. En els viatges amb el propòsit d'assegurar la seguretat d'un vaixell o salvar la vida en la mar han de ser exclosos en el càlcul.

Segons la resolució MEPC.1_Circ684 el EEOI es pot calcular amb la següent equació:

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{cargot} \times D}$$

$$\text{Average EEOI} = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \times C_{Fj})}{\sum_i (m_{cargot,i} \times D_i)}$$

Figura 34. Fórmula: Càlcul de l'índex EEOI per viatge ([MEPC.1_Circ684](#))

Figura 35. Fórmula: Càlcul de l'índex EEOI per un nombre de viatges ([MEPC.1_Circ684](#))

Per a més informació detalla i com es desglossa la fórmula informació vegeu l'enllaç que s'ubica en la font de la figura 34 i 35.

Capítol 5. Energies alternatives a les convencionals

5.1 ENERGIES RENOVABLES

5.1.1 Prefaci

Dintre de les energies renovables que existeixen avui dia, hi ha diferents tipus. No obstant, l'objecte d'estudi és la de cercar alternatives viables en la propulsió marina, per tant quedaran fora d'anàlisi les següents energies ja que no tenen cabuda en el sector naval per a ser fonts d'energia a bord del vaixell. És doncs: l'energia hidroelèctrica, la mareomotriu, energia undimotriu, energia solar tèrmica i l'energia geotèrmica.

Per tant l'estudi es centrarà en les dues energies renovables viables a bord d'un vaixell que és l'energia solar fotovoltaica i l'energia eòlica.

5.1.2 Principi

Eòlica

L'energia eòlica és aquella que aprofita l'energia cinètica que conté el vent per a ser convertida en energia elèctrica o bé mecànica.

En l'actualitat existeixen diferents tecnologies en la indústria naval, les quals algunes d'elles han estat instal·lades en vaixells de la marina mercant que aprofiten l'energia cinètica del vent per ser transformada en energia que es destina a la propulsió.

S'ha de constatar que tot i que aquestes tecnologies s'hagin instal·lat i funcionin correctament la demanda d'energia la qual ha de ser destinada a la propulsió és molt major a la que és transformada de l'energia eòlica. Fet que impedeix que l'energia renovable sigui una font d'energia única emprada en exclusiva per a la propulsió del vaixell.

No obstant els estudis que s'han realitzat amb les diferents tecnologies avui existents apunten a ser considerades les dues fonts d'energies, més la eòlica que la solar, com a complements per a la propulsió principal. Com a conseqüència es redueixen les emissions de gasos d'efecte hivernacle com també el consum de combustible que aquest es veu disminuït ja que actuen com a elements auxiliars a la propulsió.

Energia Solar Fotovoltaica

L'energia solar fotovoltaica és basa en la conversió directa de l'energia lumínica que prové del Sol en energia elèctric, d'aquest procés se'n denomina l'efecte fotoelèctric. L'efecte en si es dona quan el material és il·luminat a partir de l'espectre visible solar. Part dels electrons tendeixen a absorbir l'energia que contenen els fotons de llum, fet que com a conseqüència provoca un alliberament de les forces que els uneixen al nucli i fent que els electrons adquireixin llibertat en el moviment. El procés pel qual els electrons que queden lliures en corrent elèctric és requerit direccionar el moviment d'aquests creant així un camp elèctric en el material.

Fer menció que aquesta font d'energia com l'eòlica no generen suficient energia com per ser plantejada com una alternativa viable per a la propulsió principal del vaixell. Nogensmenys, estudis realitzats han demostrat que aquesta energia és capaç d'augmentar en consideració l'energia auxiliar del vaixell.

Per a veure informació detallada sobre les tecnologies de caire renovable que ofereixen una millora en l'eficiència energètica vegeu el punt **Error! Reference source not found.** per les tecnologies eòliques i vegeu el punt **Error! Reference source not found.** per les tecnologies solars.

5.1.3 Combustibles

Aquesta energia no empra combustibles, sinó que utilitza les fonts d'energia com és el vent o en el cas de l'energia solar l'energia que prové del sol.

Per tant s'entén que el consum de combustible serà la font d'on obtenen l'energia és a dir del Sol i del vent cada energia renovable respectivament.

5.1.4 Avantatges

- Energia renovable i de font de recursos il·limitada.
- No contribueix amb els gasos d'efecte hivernacle al no generar gasos contaminants.
- Considerades com un bon mètode per a la reducció d'emissions.
- Redueixen el consum de combustible.
- L'energia solar s'ha demostrat ser un molt bon recurs per a l'augment de l'energia auxiliar.

5.1.5 Inconvenients

- No generen la suficient potència per a propulsar l'embarcació.
- Segons les tecnologies que s'emprin afecten de manera greu l'estabilitat del vaixell.
- Estan subjectes a diverses condicions meteorològiques que siguin favorables tant per l'energia eòlica com solar per a la transformació d'energia.

5.2 BIOCOMBUSTIBLES

5.2.1 Història

Els Biocombustibles es comencen a estudiar durant gran part del segle XX amb la finalitat de poder trobar una font de combustible més neta i que tinguin un rendiment similar en comparació als derivats del petroli. A partir d'aquesta inquietud sorgiren moltes investigacions al respecte i finalment van donar a lloc el Biocombustibles de primer generació, que aquest estan considerats el bioetanol i biodièsel. La procedència del biodièsel és un compost d'olis vegetals i greixos animals com la palma, el seu i el coco, conjuntament amb el metanol.

Pel que respecte al bioetanol és produït mitjançant processos de fermentació d'origen vegetal com són el sucre o el midó, la iuca, el blat de moro, la canya de sucre, el blat o la remolatxa sucrera.

5.2.2 Principi

Els Biocombustibles no estan considerats com un mètode per a la propulsió. Estan denominats com una alternativa a nivell de combustible, és doncs una altra opció per ser consumits en els motors dièsel de 2T i 4T que es troba a bord dels vaixells.

Aquest altre mètode no pretén substituir la màquina creada per Rudolf Diesel, sinó simplement buscar l'alternativa més neta per poder emprar aquest tipus de màquina a nivell de medi ambient.

5.2.3 Combustibles

El Biocombustibles s'agrupen en funció del tipus de matèria prima usada per a l'elaboració, es troben els de primera, segona i fins la tercera generació:

Primer generació

El blat de moro i la canya de sucre són emprats com la matèria prima pel bioetanol i la seva producció es centra a Brasil i els Estats Units d'Amèrica, mentre que en Europa fan ús de plantacions de blat i la remolatxa sucrera.

Mencionar que els processos en la producció d'aquesta generació no són eficients i deriven en grans pèrdues de matèria orgànica degut a que s'han de descartar matèria perquè són de difícils de descompondre amb la tecnologia que es disposa en l'actualitat. És doncs que si no s'aconsegueix un desenvolupament dels enzims necessaris perquè aquest puguin produir el Biocombustible d'una manera eficient.

Segona generació

Aquests són produïts a partir de la biomassa lignocel·lulósica, residus forestals com d'agrícoles, de llots de les depuradores i a partir de deixalles urbanes. Els components principals d'aquest residus són la cel·lulosa, entra altres compostos que posteriorment hauran de realitzar un seguit de processos com pretractaments (mecànics, tèrmics, fisicoquímics, químics i biològics), hidròlisi, fermentació, entre altres, donen lloc als Biocombustibles de segona generació.

Tercera generació

Per tal d'evitar els principals desavantatges de les dues generacions primeres es va plantejar com a matèria prima les algues, ja fossin les microscòpiques com les macro amb la finalitat d'obtenir bioetanol. EL procés d'obtenció del combustible és de caire similar amb els de segona generació, no obstant el pretractament no és estrictament necessari degut a l'estructura de les algues. Només amb una hidròlisi àcida és suficient per a poder després portar a terme el procés de fermentació.

Pel que respecta al sector naval, s'ha de fer menció que és poc probable que puguin satisfer a les demandes exigides ja que aquestes, no són molt més eficaces que durant el procés de la fotosíntesi, nogensmenys l'eficiència podria veure's incrementada quan es troben en aigua enriquida amb CO₂, però no el suficient.

L'èter de dimetil o també nombrat dimetil d'èter (DME) és una altra alternativa per a ser considerat com a combustible. Aquest, es pot produir a través de diverses matèries primes com ara poden ser el carbó, la biomassa, el LNG (Liquified Natural Gas) o residus de petroli. Aquest tipus de combustible es troba en estat de condensació quan es troba per sobre d'una pressió de 0,5 MPa (Mega Pascals). El que el converteix en un bon recurs és la seva reacció no tòxica amb els humans i a la vegada que és net amb el medi. Tanmateix, té un índex en cetà que proporciona una bona barreja amb l'aire dins del cilindre i l'alt contingut d'oxigen permet una combustió sense fums. A la vegada, el DME mostra una alta eficiència tèrmica, mentre que el nivells de NO_x i sotge es veuen reduïts.

Presenta un inconvenient a tenir en consideració i és la quantitat que ha de ser injectada degut a la seva densitat menor i l'entalpia al produir-se la combustió.

5.2.4 Avantatges

- Els Biocombustibles es mostren como una alternativa als combustibles tradicionals però és un fet constatat que avui dia no són una opció viable.
- Els combustibles d'origen sintètic basat en els processos d'alcohols i la novetat dels tipus d'algues entre altres microorganismes són una alternativa fiable en termes de llarg termini ja que la seva producció podria ser satisfeta als requeriments del sector de la marina mercant.
- Com s'ha mencionat anteriorment, el di-metil mostra grans beneficis en els estudis realitzats i mostra un comportament molt correcte i uns beneficis molt importats en referència al medi ambient.

5.2.5 Inconvenients

- Per tal de poder realitzar un canvi amb els combustibles fòssils i convencionals el dia de l'endemà, a dia d'avui s'hauria d'iniciar les primeres generacions de produccions de Biocombustibles per tal de poder satisfer les necessitats.
- S'estan portant a terme investigacions per tal de comprovar si la biomassa i Biocombustibles en quin percentatge contribueixen en l'efecte hivernacle i s'ha de contemplar la possibilitat que no siguin els més adients per substituir el combustibles fòssils tot i que aquests contaminen en gran major quantitat que els Biocombustibles.
- Pel que respecta la primer generació de Biocombustibles s'ha comprovat quines són les conseqüències en el seu ús en els motors marins i els seus resultats no han sigut de caire satisfactori, trobant problemes de consideracions importants a nivell de motor i el sistema de subministrament de combustible.

- A dia d'avui requereix d'una profunda investigació per a la millora dels processos de producció de Biocombustibles ja que aquests no són molt eficients i a nivell ètic podria considerar-se que una millor finalitat seria destinar la producció al sector d'alimentació.
- Tanmateix es necessari la determinació d'una millora pel que respecta al maneig i emmagatzematge. I en addició comprovar quina és la repercussió en els humans.
- Pel que respecte el Biocombustible d'èter di-metílic s'hauria d'analitzar i millorar els problemes de lubricació, corrosió. També s'ha de mencionar que la xarxa de producció i distribució és anecdòtica, en comparació els mencionats combustibles residuals i destil·lats provinents del petroli cru.

5.3 PILES DE COMBUSTIBLE

5.3.1 Principi

Les piles de combustible són dispositius els quals es caracteritzen per a la transformació d'energia química en energia elèctrica. Aquestes són considerades com a piles galvàniques i a la vegada comparteixen similitud pel que respecte al principi pel qual transformen l'energia amb les bateries.

Per tal de poder entendre com la pila de combustible transforma l'energia, s'ha de comprendre doncs com ho desenvolupa una pila galvànica. Aquesta, és formada per l'ànode i el càtode, que ambdós són elèctrodes i l'electròlit. Menciona que l'elèctrode negatiu és l'ànode i aquest està constituït per una substància que tendeix a alliberar electrons mentre que d'altra banda, tenim l'elèctrode positiu, que és el càtode i la seva constitució el permet absorbir els electrons alliberats. Quan l'ànode i càtode s'ajunten entre ells es produeix la reacció electroquímica d'oxidació reducció i els ions més els electrons pateixen intercanvis entre els elèctrodes.

Pot donar-se el cas que no es produeixi cap treball donat que els elèctrodes estan en contacte directe, és quan la reacció es dona però en la superfície dels elèctrodes i automàticament els electrons són bescanviats. Amb l'objectiu d'evitar el fenomen, es forcen els electrons a haver de circular per un trajecte extern on ha d'incloure un càrrega i a la vegada els elèctrodes han de poder separar-se amb un element que no condueixi electrons però sí ions. Per tal d'aconseguir el descrit, és on entra en joc l'electròlit que haurà d'ubicar-se entre els elèctrodes i és doncs quan la reacció dona peu en la transformació d'energia.

En la figura 36, es pot veure com és la pila de combustible i el seu principi bàsic. A l'esquerra superior de la imatge es troba l'entrada de combustible i en l'inferior la sortida del sobrant de combustible. En la part central de la imatge es troba ubicat l'electròlit entre l'ànode i càtode. Finalment en el marge superior es troba l'entrada de l'element oxidant de la reacció i en el inferior la sortida del resultat de la reacció química produïda. La pila mai deixarà de funcionar si aquesta és subministrada de combustible i oxidant.

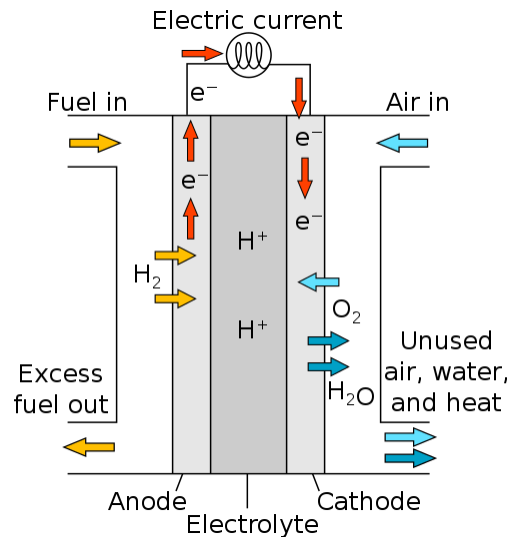


Figura 36. Principi d'una pila de combustible (Wikimedia Commons)

Es pot trobar l'electròlit en diferents estats, a sigui en sòlid o bé líquid i és una de les característiques que defineixen el tipus de piles de combustible que existeixen. Tanmateix les piles usen un catalitzador per tal de fomentar la reaccions als elèctrodes i estan formats de metalls nobles. És doncs que les piles de combustible es poden classificar en:

- Alcalina
- Carbonat Fos
- Àcid Fosfòric
- Membrana d'Intercanvi de Protons (Vegeu la figura 35)
- PEM de Metanol Directe
- Òxid Sòlid
- Altres tipus

5.3.2 Combustibles

Les piles de combustible poden consumir varietat de combustibles per a la producció d'energia elèctrica entre les quals es diferencien segons en el seu estat, líquid o bé gasós.

Líquid

- Fuel oil
- Querosè
- Combustible dièsel
- Gasolina

- Combustible d'aviació
- Metanol, etanol, dimetil èter i biodièsel

Gasós

- Gas Natural
- LPG Liquefied Petroleum Gas, en català Gas Liquefiet provinent del petroli
- Hidrogen

5.3.3 Avantatges

- En l'actualitat s'està fomentant l'ús d'aquesta tecnologia per a tecnologies de propulsió híbrides o de baixa potència i a la vegada usades en per a alimentar sistemes auxiliars a la propulsió.
- Les piles de combustible produeixen electricitat en corrent continu i són ideals per a vaixells amb transmissions elèctriques.
- Les piles de combustible del tipus d'òxid sòlid i carbonat fos són les que tenen un futur més prometedori per a la propulsió en mercants.
- El metanol és una molt bona alternativa a tenir en consideració per les piles de combustible.
- Les piles de combustible al no tenir peces mòbils són molt més silencioses que les maquinaries convencionals per a la propulsió.
- Les piles de combustible alimentades per hidrogen, no emeten CO₂ a l'atmosfera.
- Aquests tipus d'alternativa requereix de combustibles nets i per tant no emeten SO_x, ni NO_x ja que són dispositius que treballen a baixa temperatura. S'han de contemplar com una opció molt vàlida com a tipus de propulsió híbrida conjuntament amb una altra mètode per a la propulsió per a vaixells de dimensions petites i mitjans.
- Poden ser emprades per a vaixells de dimensions reduïdes en viatges marítims de curta durada.
- Presenten rendiments elèctrics del 40% fins el 80% només en els casos que s'aprofita l'energia tèrmica generada.
- La potència de la pila de combustible pot ser augmentada segons la seva mida.
- Generen poca contaminació atmosfèrica ja que empren qualsevol combustible que contingui hidrogen i el propi cremador intern de les piles genera aproximadament a l'ordre de 3ppm de NO_x. Pel que respecte a CO₂ es genera durant el processat del combustible però només en petites quantitats en comparativa a les emissions de les propulsions convencionals.
- Instal·lació fàcil i poc costosa ja que no requereix de grans infraestructures ni operatives. Tanmateix no presenten desgasts ja que no tenen parts mòbils, cosa que genera molt poc

manteniment de les piles de combustible. I al no tenir parts mòbils, les piles produeixen molt poca contaminació sonora.

- Es poden desenvolupar diferents produccions elèctriques, és a dir altes generacions o baixes generacions d'electricitat segons el tipus pila de combustible que s'empri a bord del vaixell.

5.3.4 Inconvenients

- Encara que el combustible més fàcil d'emprar sigui l'hidrogen,, requerirà de un gran desenvolupament en el sector naval, ja sigui en la infraestructura a nivell mundial pel subministrament com també a nivell de l'operativa d'aquest combustible.
- En cas d'usar els combustibles considerats més convencionals requerirà de processament d'aquests a bord ja que presenten problemes si aquests són emprats directament. Cosa que repercutirà negativament en els costos per a la generació d'energia.
- Per a vaixells que siguin de transmissió mecànica les piles presenten l'inconvenient de generar l'energia en electricitat de corrent continua per tant s'hauria d'adaptar el vaixell.
- Les piles de combustible presenten una potència específica menor en comparació que els motors dièsel. S'haurien d'indagar més, en definitiva investigar més amb aquest tipus de tecnologia per tal de millorar la problemàtica de la vida útil i els costos que generen la fabricació de les piles ja que aquests són molt elevats.

5.4 BATERIES

5.4.1 Principi

El mètode de funcionament d'una bateria és molt similar al d'una pila de combustible ja que les bateries també són considerades piles galvàniques. De les poques diferències que una pila de combustible i una bateria es caracteritza bàsicament en que l'ànode de la bateria és dissolt en l'electròlit quan és produeix la reacció química provocant la formació de cations (ions positius) i a la vegada deixant electrons acumulats. Aquests cations viatgen a través de l'electròlit fins arribar al càtode mentre que el electrons viatgen pel trajecte extern fins finalment arribar al càtode.

Aquests fluxos d'electrons continuen fins el punt d'arribar a ser consumit totalment l'ànode, o bé l'electròlit no pot proporcionar més ions positius o també pot donar-se el cas que el circuit és eliminat de la càrrega.

En la figura 37 es pot observar com es basa la propulsió únicament i exclusivament a partir de les bateries. Aquestes subministren electricitat en corrent continu que prèviament arribar a la panell de control es convertida per a subministrar l'electricitat amb corrent alterna per a dispositius i sistemes. Un cop surt del panel torna a ser de nou convertida per alimentar els motors síncrons amb corrent continu que aquests transformen l'energia elèctrica en mecànica per a moure a través d'un eix l'hèlix, generant aquesta, l'empeny.

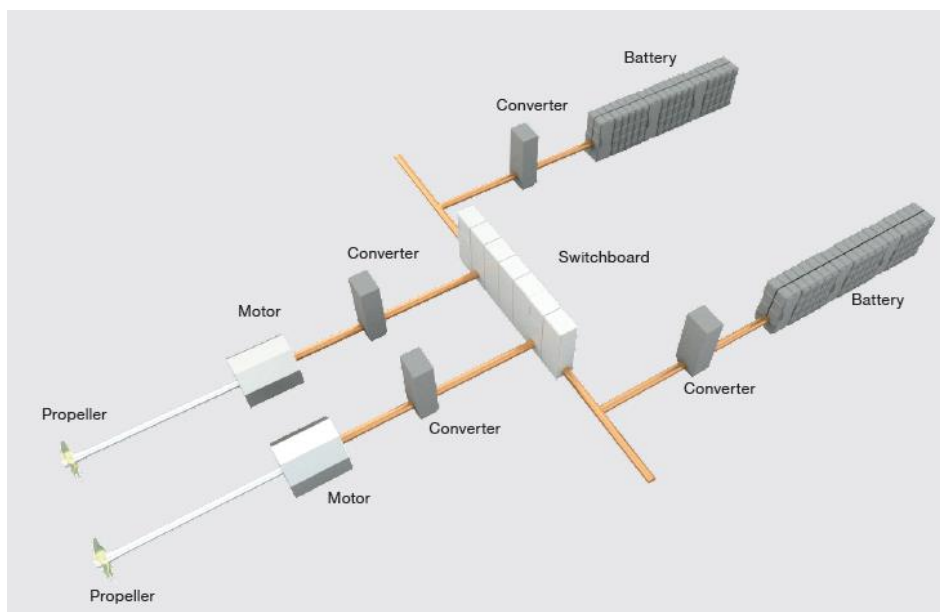


Figura 37. Propulsió amb bateries (Batteries on board ocean-going vessels - MAN)

5.4.2 Combustibles

Per a que les bateries subministrin electricitat aquestes no consumeixen combustible com a tal, sinó es basa en la reacció química d'oxidació-reducció per tant és una font d'energia neta. Però es ben cert que per a ser recarregades les bateries han d'emprar electricitat per després tornar a ser descarregades.

Depèn del com es recarreguin les bateries es pot afirmar si el tipus de propulsió és neta o no ja que per a la recàrrega de les bateries poden emprar sistemes com dièsel generadors o bé mitjançant panells fotovoltaics o bé eòliques. Per tant queda palès que atenent la font principal de recàrrega de les bateries es podrà afirma o no si es considera que aquesta empra algun tipus de combustible, no per a la subministrar energia a la propulsió del vaixell, sinó per a la recàrrega d'aquesta.

5.4.3 Avantatges

- Presenten una avantatge molt important i és en clau d'emissions ja que aquestes emeten de cap tipus, CO₂, NO_x, SO_x, i partícules orgàniques volàtils duran el seu funcionament.

- La perspectiva de futur a mig termini, les bateries poden ser una solució potencial per a un determinat tipus de vaixells, sobretot els que siguin de dimensions més petites. Sempre tenint en compte el desenvolupament que aquestes puguin donar-se els pròxims anys.
- Bona alternativa a la generació d'energia per sistemes de propulsió híbrids i en definitiva a sistemes auxiliars dels vaixells.

5.4.4 Inconvenients

- En l'actualitat, les dimensions que haurien de tenir les bateries haurien de ser tant grans per tal de poder usar-se com a únic mètode per a la propulsió que no es viable a nivell d'espai que ocuparien.
- La propulsió únicament i exclusivament produïda per bateries no és avui dia viable per les limitacions tècniques i requereix d'un desenvolupament tècnic major i tot i així no sigui suficient com una alternativa per a mercants de dimensions normals o grans.
- Les bateries instal·lades a bord hauran de ser renovades quan aquestes arribin al màxim de la seva vida útil, que aquestes ve donada per un nombre total de cicles que aquestes poden patir carregant-se i descarregant-se.

5.5 HIDROGEN

5.5.1 Prefaci

L'hidrogen és una alternativa de combustible que en l'actualitat està passant encara fases d'investigacions i dubtant de la seva possible viabilitat en el sector naval. S'ha de mencionar que l'hidrogen és un element que es fàcil de trobar ja que estar per totes bandes, però quasi mai el es pot trobar separat d'altres elements, és a dir no es troba l'hidrogen per separat. És doncs que cal mencionar les alternatives d'avui amb la seva manera d'obtenció

5.5.2 Obtenció de l'hidrogen

Electròlisi

Aquest procés consisteix en la descomposició de l'aigua emprant l'electricitat. Bàsicament tracte en la ruptura de la molècula que conforma l'aigua mitjançant energia elèctrica, però aquesta produeix diòxid de carboni.

Reformat amb vapor

El reformat amb vapor es basa en la ruptura dels combustibles que continguin hidrocarburs o bé alcohols mitjançant energia tèrmica i el vapor d'aigua. Es basa en la reacció catalítica d'una barreja entre el vapor d'aigua i els mencionats anteriorment, hidrocarburs o alcohols i són sotmesos a temperatures mitjanament altes per a formar l'hidrogen, i en el procés es crea a la vegada monòxid de carboni (CO) i diòxid de carboni.

Gasificació

La gasificació és el procés en el qual es crea la ruptura d'hidrocarburs pesats o biomasses en hidrogen i en conseqüència es creen nous gasos que serviran pel reformat. Es basa en la injecció dels hidrocarburs pesats com pot ser el carbó, i és injectat conjuntament amb oxigen i/o vapor d'aigua a una determinada temperatura entre 700 i 1500°C i es produeix la combustió amb defecte d'aire.

Cicles termodinàmics

El procés consisteix en la ruptura de la molècula de l'aigua mitjançant la calor residual a temperatures molt elevades. Els processos més viables per cicles termodinàmics consisteixen en el cicles que poden implementar-se amb energia solar concentrada o bé energia nuclear.

Altres processos químics de descomposició

Es basa en la ruptura de la molècula de de l'aigua mitjançant cicles termodinàmics a temperatures mitjanes.

Processos biològics

Bàsicament tracta de la generació de l'hidrogen per mitjà d'unes algues i bactèries que sota unes condicions predeterminades poden canviar el seu metabolisme per a la producció d'hidrogen en comptes de diòxid de carboni.

- Generació fermentativa

Són grups de bactèries denominades fermentadores que aquestes tenen la capacitat de generar hidrogen gràcies a sucres simples per tres vies diferents

- Generació per nitrogenasa

Els cianobacteris empren l'enzim denominat nitrogenasa per a la generació de hidrogen. La reacció es basa en la capacitat que té l'enzim nitrogenasa a modificar la seva funció habitual i catalitzar la síntesi d'hidrogen segons una reacció diferent quan és en presència d'argó.

- Generació per hidrogenasa

Generen l'hidrogen a partir d'algues que aquestes en condicions lumíniques com en la foscor són capaces de generar-lo bàsicament per fermentació gràcies al midó que conté intercel·lularment.

5.5.3 Principi

L'hidrogen té diferents tipus d'aplicació ja que al cap i a la fi no deixa de ser una alternativa al combustible és doncs que no s'explicaran els principis ja que aquests ja s'han mencionat anteriorment però sí que es comentaran les viabilitats que aquests diferents principis presenten.

Pila de combustible

Les piles de combustible com s'ha vist en l'anterior apartat avui dia no mostren la capacitat d'energia elèctrica que demanda un vaixell per a la seva propulsió, tot i que no es pot obviar que les piles de combustible que empren hidrogen estant pensades per a ser fonts d'alimentació per a serveis auxiliars aquestes no generen cap mena d'emissions de gasos d'efecte hivernacle i molt menys òxids de sofre o de nitrogen.

Turbina de gas

Les turbines de gas que emprin com a combustible avui dia no estan ni molt menys gaire avançades, pel que respecte al rendiment i eficiència que presenta aquest combustible al ser cremats per la turbina. Tanmateix existeixen fabricants que han adaptat alguns dels seus models per a poder ser usades amb l'hidrogen obtenint de manera satisfactòria fiabilitat en la maquinaria. Un aspecte a tenir en consideració és controlar el paràmetre de la temperatura de la flama. L'hidrogen afavoreix que la barreja d'aire i hidrogen pugui ser pobre fet que provoca que la temperatura es vegi reduïda respecte altres tipus de combustible i a la vegada és beneficiós que sigui baixa la temperatura ja que quan aquesta és superior a 1500°C la generació de NO_x es veu augmentada exponencialment.

Motors:

- Combustió interna

L'ús d'hidrogen com a combustible avui dia presenten una sèrie d'inconvenients important a tenir en consideració.

El primer és la disminució de potència que generen en els motors, fins a reduir un 15%. Per a solucionar-ho la injecció de l'hidrogen ha de ser o bé comprimit o bé líquid.

El segon és la baixa energia d'ignició, el qual tendeix auto-inflamar-se. És un aspecte a tenir en relleu ja que provoca de manera indirecta que la barreja es cremi abans d'hora provocaria problemes en la vida útil del motor. També és cert que es soluciona si l'hidrogen és injectat en estat líquid cosa que fa rebaixar la temperatura de l'hidrogen i eviti la ignició no desitjada.

- Dual Fuel

El mètode d'emprar dos tipus de fuel per a la propulsió, essent un l'hidrogen és beneficiós de car a les emissions que aquestes es poden reduir entre un 20 i 80% en la formació de fums i en alguns casos la formació d'òxids de nitrogen es veiessin reduïts fins el 70%.

Tanmateix presenta una desavantatge ja mencionat en el sub-subapartat anterior i és la ignició no desitjada.

5.5.4 Combustibles

El combustible que s'empra en els diferents principis esmentats anteriorment té per objectiu el consum d'hidrogen per generar l'energia elèctrica o bé mecànica amb la finalitat de la propulsió total del vaixell. L'hidrogen normalment podrà ser trobat en dos estats diferents, o bé gasós o també líquid.

Pel que respecte als motors dual fuel com el seu nom bé indica pot emprar dos o més tipus de combustibles un seria l'hidrogen l'altra podria ser un derivat del cru com fuel oils o derivats d'ells com també podria emprar LNG.

5.5.5 Avantatges

- En el cas de motors dual fuel aconseguirien reduir considerablement les emissions de gasos d'efecte hivernacle.
- Pel que respecte altres principis mencionats és una energia bastant neta la qual genera molt poques emissions d'efecte hivernacle o gairebé 0 depenent de la tecnologia es tracti.
- Quan l'hidrogen és subministrat en estat líquid no genera emissions de CO₂ ni SO_x a l'atmosfera.
- En cas de tenir plantes a bord de generació d'hidrogen, disposaran de l'aigua de mar com a combustible mentre i quan la generació no requereixi de molta energia elèctrica.
- En cas de no disposar de generadors d'hidrogen, es pot obtenir arreu del món per mitjà del mètodes mencionats anteriorment.
- Pot ser emprat fins a tres tipus de principis diferents, tant en turbines de gas, com en piles de combustible com en motors.
- La combustió d'aquest genera gran quantitat de matèria prima en aigua dolça.
- Quan aquesta tecnologia s'hagi investigat i assoleixi superar els inconvenients d'emmagatzematge serà l'alternativa amb més viabilitat per la font d'obtenció de l'hidrogen que és immensa.

5.5.6 Inconvenients

- En l'actualitat l'hidrogen mostra problemes en l'emmagatzemat ja que es requereixen de pressions molt elevades.
- Pel que respecte al emmagatzematge líquid aquest treballa en temperatures criogèniques i s'hauria de passar un procés de líquefacció amb el cost energètic que suposa.
- El sistema d'emmagatzematge requereix de quasi tres vegades més de pes i de volum respecte a tancs de combustibles convencionals.
- Cost elevat dels sistemes d'emmagatzematge respecte altres combustibles, sobretot els gasosos ja que han d'emprar materials molt cars com fibra de carboni o de vidre.
- Les propietats físiques del hidrogen no podrà proporcionar les mateixes prestacions que altres combustibles convencionals.

- La xarxa inexistent avui dia a nivell d'infraestructura, emmagatzematge i distribució de l'hidrogen.
- Com s'han mencionat en els apartats anteriors mostren problemes amb la combustió tot i que poden ser solucionats canviant l'estat en el que es troba l'hidrogen.

5.6 AMONÍAC (NH₃)

5.6.1 Principi

A continuació es detalla en la figura 38 els diferents principis que pot desenvolupar la funció de generació d'energia el combustible en qüestió, és a dir l'amoníac.

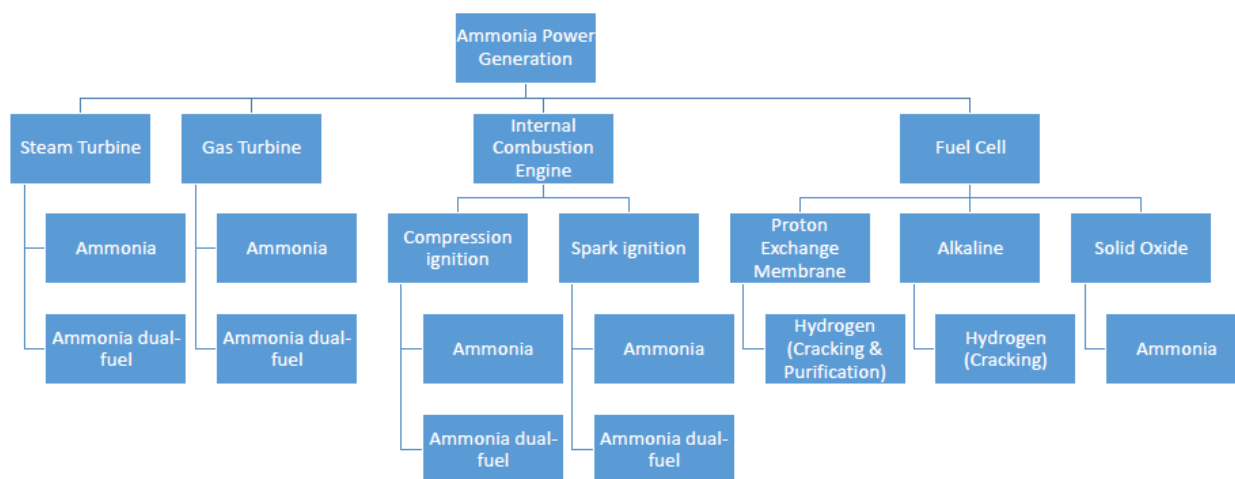


Figura 38. Principis el qual l'amoníac funciona (Ammonia as Marine Fuel - Maritime Panel Discussion)

És doncs que l'amoníac pot ser emprat pels principis:

- Turbina de vapor
- Turbina de gas
- Motors de combustió interna
 - Motors dièsel
 - Motors Otto
 - Motors dual fuel
- Piles de combustible
 - Alcalina
 - Membrana d'Intercanvi de Protons
 - Òxid Sòlid

En els casos on l'amoníac és cremat en motors de combustió interna es requereix d'un catalitzador que pugui trencar una petita proporció d'amoníac en nitrogen i hidrogen. El propi hidrogen s'encén i és cremat conjuntament amb l'amoníac.

Pel que respecte a la piles de combustible del tipus membrana d'intercanvi de protons l'amoníac es completament separat i l'hidrogen és emprat per a la generació d'energia elèctrica. Finalment per les tipus d'òxid sòlid es pot usar directament l'amoníac però requereix d'una major investigació per tal de poder determinar la seva viabilitat.

5.6.2 Combustibles

El combustible emprat seria l' NH_3 , és a dir l'amoníac. Però s'ha de fer menció que en motors dièsel requereix de la barreja d'additius per a una correcta combustió.

5.6.3 Avantatges

- No es produeixen emissions d'efecte hivernacle provinents de la combustió de l'amoníac si aquest és generat a terra.
- Tampoc presenta emissions d'òxids de sofre.
- Actualment es disposa d'una producció a granel estable que ronda sobre els 130 milions de tones per any.
- L'amoníac pot ser emmagatzemat en un estat líquid a una temperatura relativament fàcil de treballar, aproximadament de $-33,4^{\circ}\text{C}$ a la pressió de 1 bar.
- Mencionar que el transport marítim durant dècades ja ha transportat l'amoníac en tancs de càrrega per tant no seria difícil la implementació a bord.

5.6.4 Inconvenients

- La manipulació d'aquest combustible requereix de nous procediments com a conseqüència dels gasos perillosos.
- En generadors d'amoníac ubicant a bord produeixen emissions d'efecte hivernacle
- Es necessitarien de noves instal·lacions i crear una infraestructura per tal de poder donar subministrament arreu del món.

- En els motors dièsel es requereix d'additius que han de ser afegits en l'amoníac per tal de promoure la ignició.
- Presenta problemes de corrosió que haurien de ser superats abans d'implementar-se.

5.7 NITROGEN LÍQUID I AIRE COMPRIMIT

5.7.1 Principi

Aquesta tecnologia avui dia està en fase d'experimentació i requereix de fases d'investigació per saber la viabilitat d'aquesta propulsió. Fer menció que es tracta d'un mètode de propulsió de baixa densitat d'energia.

L'avaluació de la utilitat d'aquests sistema serà en funció dels mitjans d'emmagatzematge, en concret de la massa del sistema que es podrà guardar en els tancs per tal de saber la quantitat d'energia necessària que podrà donar-se entre recàrregues.

Tanmateix, per tal de poder desenvolupar amb èxit aquests mitjà de propulsió serà imprescindible incloure recipients a pressió que avui dia ja es donen els vaixells, pel sistema d'arrencament del motor principal. I pel que respecte al nitrogen es necessari de sistemes criogènics que avui dia són coneguts i emprats en instal·lacions terrestres.

Bàsicament el mètode pel qual genera l'energia propulsiva és mitjançant la combustió de la barreja del nitrogen líquid amb l'aire comprimit en un motor de combustió interna. L'ús d'aire comprimit en la barreja afavoreix en un aspecte i és l'eliminació del pre-compressor que disposen els motor principals cosa que els proporciona un 15% d'augment en clau d'eficiència del propi motor.

Aquest mètode té la gran avantatge de no generar emissions de CO₂, NO_x i SO_x a l'atmosfera.

5.7.2 Combustibles

Com bé indica el combustible que emprarà aquesta tecnologia és el nitrogen líquid i la barreja per a la combustió serà l'aire comprimit. Tant el nitrogen com l'aire comprimit requeriran d'energia per a ser produït en el cas del combustible i energia en ser comprimit en el cas del comburent.

5.7.3 Avantatges

- És una alternativa a tenir en consideració pel que respecte a les emissions contaminants ja que aquest tipus d'alternativa no genera emissions d'òxids de sofre ni de nitrogen ni diòxid de carboni.
- La producció de nitrogen líquid únicament pot ser subministrada ja que a bord no es podria generar el combustible. Tanmateix no empraria combustibles fòssils per a la creació del nitrogen líquid.
- Pel que respecte a l'emmagatzematge del combustible en tancs, és una tecnologia que està ben desenvolupada en l'actualitat.

5.7.4 Inconvenients

- Es necessitarien de noves instal·lacions i crear una infraestructura per tal de poder donar subministrament arreu del món.
- Les dimensions i el rang de pressions dels tancs d'emmagatzematge com també les capacitats criogèniques que aquests mostrin determinaran la quantitat d'energia que pot emmagatzemar i per tant, quina viabilitat tindrà aquest tipus d'alternativa.
- Existeix el risc d'explosió amb els tancs que operen a tant alta pressió en el supòsit que s'iniciï una fractura en el propi tanc.
- La corrosió marina a la que es veuen afectats els vaixells pot ser un problema a la vegada pels tancs d'alta pressió per emmagatzemar el combustible.
- Avui en dia, encara no s'ha emprat ni tampoc s'ha provat la viabilitat que aquest tipus de combustible podria tenir dintre del sector naval amb la finalitat exclusiva de propulsar el vaixell.
- Aquest mètode d'emmagatzematge d'energia és de baixa densitat energètica, per tant és més probable que aquesta alternativa a la propulsió sigui més adequada en rutes marítimes de curta durada.

5.8 PROPULSOR MAGNETOHIDRODINÀMIC

5.8.1 Principi

Aquest tipus de tecnologia no està molt avançada tot i que el primer prototip satisfactori en el sector naval va ser el Yamato 1 l'any 1991.

El principi el qual es basa un propulsor magnetohidrodinàmic (MHD) és en el principi físic de la força de Lorentz. La força de Lorentz ve definida per una càrrega puntual de caràcter elèctric en moviment a una velocitat que aquesta es troba en una regió caracteritzada per un camp magnètic, la partícula que ha estat carregada experimenta dues forces, una generada pel camp elèctric i una altra pel camp magnètic.

En la figura 39 es mostra com el funcionament del propulsor, aquest li és induït un camp magnètic gràcies a les bobines superconductores. Les bobines condueixen l'electricitat i aquestes han de ser refrigerades per mantenir-les en un estat de superconductivitat. Quan es dona el camp magnètic gràcies a la corrent elèctrica es tenen els dos ítems per a generar una propulsió segons la llei de la mà dreta o esquerra. Només queda introduir un fluid per tal la força i aquest és l'aigua de mar que és conductora per la sal que hi conté.

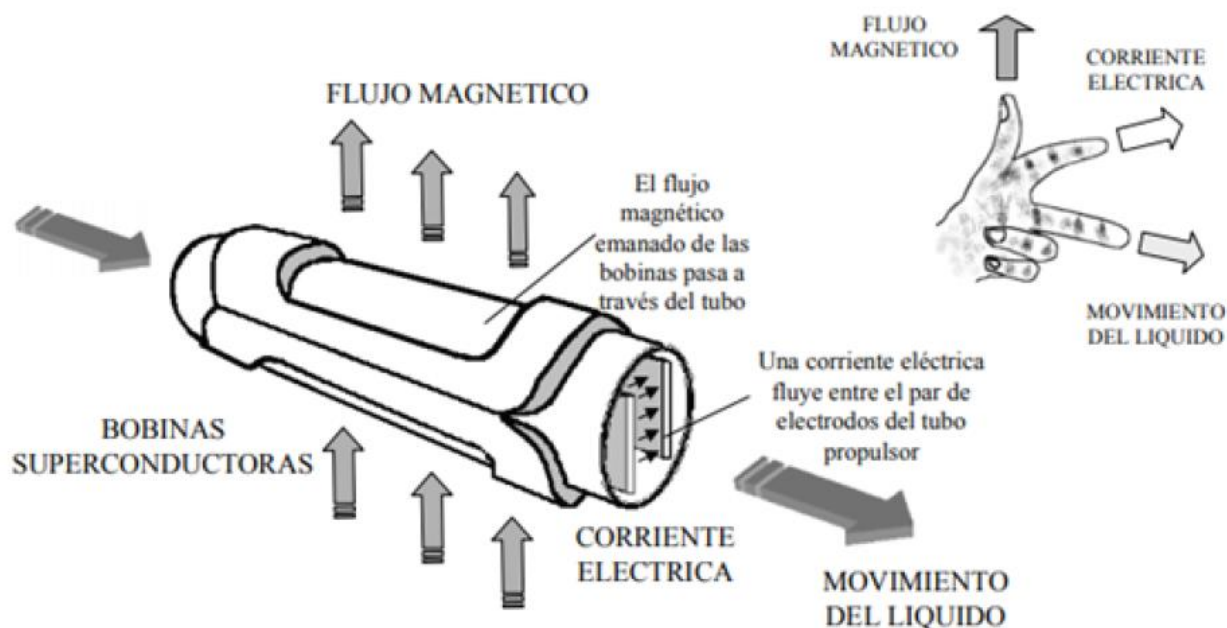


Figura 39. Principi de propulsor magnetohidrodinàmic (Propulsión Magnetohidrodinámica para Embarcaciones - CITE Energia)

Aquest tipus de sistema avui dia és molt teòric i no està gens implementat en embarcacions d'esbarjo com tampoc s'ha aplicat en la marina mercant.

5.8.2 Combustibles

Els combustible que emprin com a tal per a generar la propulsió podria dir-se que consumeix energia elèctrica. La manera en que s'obtingui aquesta energia la farà més o menys neta la propulsió, és a dir si per a generar electricitat aquesta és donada per dièsel generadors aquests consumiran fuel oils o derivats, en canvi si s'empren tecnologies com les piles de combustible empraran altres tipus de combustibles, com hidrogen o alcohols. Finalment si la generació elèctrica ve donada per energies renovables com la solar o eòlica farà que aquesta propulsió sigui totalment neta, però es poc probable que puguin proporcionar l'energia elèctrica demandada per al propulsor.

5.8.3 Avantatges

- Donaran la capacitat de viatjar a velocitats més altes, ja que en comparació al mètode tradicional de l'hèlix aquesta vindrà predestinada pel fenomen de cavitació que no permetrà una velocitat superior de 20 o 25 nusos.
- Pel que fa a la maquinaria propulsiva no genera soroll ja que no està formada per parts mòbils ni moviments rotatius per a la propulsió.
- Pel mateix fet que no disposen de parts mòbils ni tampoc vibren, els fa idonis per a un manteniment molt baix en comparativa altres mètodes convencionals.
- Al no usar hèlix, el mètode d'aquest propulsor s'estalvia connexions per eix i permet dissenys nous per tal de fomentar una millor hidrodinàmica amb el dimensionament del vaixell.

5.8.4 Inconvenients

- Existeix una limitació en la construcció de magnetos més eficaços ja que el magneto consumeix fins a un 60% de la força electromotriu generada.
- Es requereix d'un gran flux electromagnètic per tal de poder contrarestar el propi magnetisme que emet l'aigua i que aquest té un efecte en el propulsor MHD.
- No es pot emprar aquesta tecnologia en aigües dolces per el seu nivell baix de conductivitat elèctrica.
- L'aigua salada té un alt nivell de corrosió en els elèctrodes.

Capítol 6. Reduccions d'emissions:

Mètodes per a la millora

6.1 TECNOLOGIES DE REDUCCIÓ DE CO₂

Amb l'objectiu principal de reducció d'emissions de CO₂ es van desenvolupar diferents tecnologies que aquestes es poden classificar segon el moment on actuen per tal de reduir les emissions, és doncs que es pot trobar sistemes que actuïn abans de la combustió, després de la combustió i finalment es troben els sistemes oxicombustibles.

6.1.1 Sistemes Oxicombustibles

El sistemes oxicombustibles tenen per objectiu augmentar la presència de diòxid de carboni en els gasos d'escapament per tal de poder ser capturats d'una manera més fàcil i conseqüentment purificats. Per tal d'aconseguir-ho hi ha dues maneres, la primera és emprant aire enriquit en oxigen o bé directament emprant oxigen d'una puresa molt elevada rondant quasi el 100%. Quant major sigui el percentatge d'oxigen pel que respecte al comburent major serà la puresa de CO₂, no obstant aquest procés consumeix una major quantitat d'energia.

6.1.2 Sistemes actuen abans de la combustió

Els sistemes que actuen abans de la combustió normalment s'empren per a la generació d'hidrogen, encara que també tenen la peculiaritat de poder produir combustibles amb una relació d'hidrogen i carboni més alta i conseqüentment reduir les emissions de diòxid de carboni al produir-se la combustió. El principi pel quals es defineix aquest sistema és en el procés de retirar el carboni del combustible abans de que aquest sigui cremat en la càmera de combustió. Per veure les maneres pels quals és pot retirar el carboni vegeu com es duu a terme en el punt 5.5.2, que són les maneres d'obtenir hidrogen.

6.1.3 Sistemes actuen després de la combustió

Els sistemes que actuen després de la combustió estan definits per a que siguin emprats en focus grans d'emissions de diòxid de carboni. Provocant que aquests augmentin en concentració i s'apropin a valors del quasi 100% de CO₂ en els gasos d'escapament. Un cop es donen les característiques plantejades a nivell de concentració de diòxid de carboni, aquests són comprimits, transports i emmagatzemats o bé tinguin una finalitat industrial. Tot els processos de captió d'emissions de CO₂ suposen una gran despesa energètica. Existeixen diferents tipus de sistemes pels quals les emissions de CO₂ es veuen reduïdes després de la combustió:

Absorció

- Absorció física

El procés consisteix en l'absorció del CO₂ a través d'un dissolvent líquid, que depèn en gran mesura de les pressions parcials dels gasos que ha de poder capturar. Aquests mètodes permeten l'eliminació de gasos àcids com el àcid de sofre i el diòxid de carboni. Existeixen alguns dissolvents que són capaços de poder capturar de manera selectiva o bé simultània.

- Absorció química

El principi pel qual es caracteritza per l'eliminació del CO₂ quan és posat en contacte amb solvents químics amb el qual reacciona creant productes intermedis. Per tal de poder reutilitzar el solvent aquest ha de passar un procés de regeneració per mitjà de vapor a baixa pressió. El vapor cedeix part del seu calor al solvent i els productes intermedis generats anteriorment alliberant CO₂. Finalment a la torre de regeneració el solvent encara conté petites quantitats de diòxid de carboni i productes intermedis ja que les reaccions químiques no es poden revertir per complet.

Existeixen diferents tipus de solvents tot i que el més emprat i conegut és l'anomenat MEA, però també existeixen solvents d'amoníac o de carbonat potàssic.

Adsorció

Aquest procés es desenvolupa a altes pressions, per tant els gasos d'escapament han de passar una fase prèvia de compressió, fet que provoca un encariment de l'operativa a realitzar. El principi és un cicle en el qual primer es dona un procés d'adsorció i un segon procés de regeneració.

El procés d'adsorció es pot distingir en físic o bé en químic. L'adsorció física es basa en un material en estat sòlid i la seva capacitat en poder adsorbir certs gasos en els seus porus quan aquests estan

sotmesos a una pressió alta. Pel que respecte a l'adsorció química els gas és capturat i reacciona amb la superfície d'adsorbent formant enllaços químics que posteriorment son revertits en el procés de regeneració.

Finalment es poden distingir dos tipus de solvents els sòlids i els solvents químics. Dintre dels solvents sòlids estan els carbons actius, les zeolites i els MOF mentre que en els químics distingim els solvents d'origen sintètic o bé els d'origen natural.

Bacteris

Existeixen bacteris procariotes que són capaços de produir productes amb valor afegit com poden ser etanol, metà o acetona quan es troben en condicions atmosfèriques amb alts continguts de CO₂. Un cop s'esbrini en futures investigacions els com aquestes cèl·lules es poden reproduir en aquestes condicions i descobrir els gens que s'encarreguen de desenvolupar les reaccions químiques necessàries en un futur no molt llunyà serien capaços de generar combustibles com poden ser el metà o etanol.

Criogènia

Aquests tipus es caracteritza per la captura del CO₂ de manera criogènica basant-se en els diferents punts de rosada de cada element que configura els gasos d'escapament, ja que cada un té una temperatura diferent de condensació per una determinada pressió. Es basaria en la condensació de l'aigua que és generada en la combustió, més tard es condensaria el CO₂ i finalment no s'obtindria un gas amb un alt contingut en nitrogen i baix en aigua i diòxid de carboni.

Membranes

El seu principi és basa en la capacitat d'algunes membranes compostes per diferents elements capaços de deixar passar el CO₂. Aquest sistema repercuteix en un alt consum d'energia en comparació a mètodes més tradicionals. Es poden trobar diferents membranes i es classifiquen segons la seva composició.

- Inorgàniques
- Polimèriques
- Modificades

Processos fonamentats en calci

El mètode es basa en l'ús de solvents en estat sòlid. Per tal de poder portar a terme aquests processos es necessari reduït considerablement els compostos que puguin contenir sofre ja que aquest afecta de manera negativa en la instal·lació. En definitiva es basa en que els gasos d'escapament una vegada hagin estat reduïts en contingut de sofre són introduïts al carbonatador on el CO_2 reacciona amb l'òxid de calci creant carbonat càlcic. Finalment el carbonat càlcic és revertit en el seu estat original mitjançant la calor alliberant CO_2 altament concertat. L'òxid de calci és reconduït de nou al carbonatador i el flux de gasos nets és alliberat a l'atmosfera.

6.2 TECNOLOGIES DE REDUCCIÓ DE NO_x

En les tecnologies per a la reducció d'emissions de NO_x es poden diferenciar en dos grups denominats pretractament o bé mesures primàries i les post-tractament o mesures secundàries. La diferència principal entre les dues mesures és quan aquestes actuen si abans de la combustió o a posteriori. Existeixen altres tipus de mesures per a la reducció d'emissions però s'han considerat les més emprades i rellevants les mencionades a continuació.

6.2.1 Pretractament

Les mesures de reduccions de tipus pretractament són aquelles que tenen per objectiu augmentar l'eficiència tèrmica del motor o bé disminuir les variables principals que ocasionen la generació de NO_x .

Combustió de baix contingut en aire

És una de les mesures més simples que existeixen per a la reducció d'emissions d'òxids de nitrogen. L'objectiu és reduir el contingut d'oxigen el màxim que es pugui per a tal que es pugui donar la combustió. La mesura té un benefici que oscil·len entre el 10 fins el 45% en clau de reduccions.

Emulsió d'aigua en el combustible

El principi es basa en crear el fenomen de micro explosions que es produeixen dintre del cilindre quan aquest augmenta la temperatura durant la injecció. Aquestes petites explosions es produeixen com a conseqüència d'haver emulsionat el combustible en aigua i les partícules d'aigua es vaporitzen amb l'augment de la temperatura i provoca una ruptura de les gotes del combustible.

Injecció d'aigua a l'aire d'admissió

Aquest sistema es basa en la reducció de la temperatura de combustió i la manera d'aconseguir és refredant l'admissió del motor. Aconseguint refredar l'aire d'admissió es provoca una reducció de la temperatura de la flama fet que com a conseqüència dóna una reducció de les emissions de NO_x . Aquesta mesura s'ha implementat correctament i ha donat beneficis en terme de reduccions d'emissions de fins el 60%.

Injecció directa d'aigua a la càmera de combustió

Com bé indica el tipus, el principi es basa en injectar aigua abans que el combustible fent que aquesta rebaixi la temperatura de la zona de combustió fet que provoca que els nivells de NO_x es vegin reduïts un 50% però com a conseqüència augmenta el consum un 2%.

Recirculació de gasos

Aquest mesura consisteix en redirigir una part dels gasos d'escampament des de l'entrada del preescalfador de l'aire fins al col·lector d'aire abans de ser injectat a la caldera. Fet que provoca que es vegin reduïts els nivells d'oxigen, cosa que implica un descens de la temperatura de la flama i es redueix la formació de NO_x .

El sistema només pot arribar a una reducció de les emissions d'òxids de nitrogen fins el 20%, per contra la instal·lació és complicada i pot generar inestabilitat a la flama.

6.2.2 Altres tipus de mètodes amb conjunció de mètodes pretractament

Combustió escalonada

Aquesta mesura aconsegueix entre el 50 i 60% de la reducció d'emissions.

Cremadors amb baix contingut de NO_x amb la combustió escalonada

És un dels sistemes que ajuda més en la reducció d'emissions de NO_x fins a un 60% de les emissions totals.

Cremadors amb baix contingut de NO_x amb la injecció escalonada d'aire

S'aconseguiran reduccions entre un 25 i un 35% d'òxids de nitrogen.

Cremadors amb baix contingut de NO_x amb recirculació de fums

Pel que respecte a aquest tipus de sistema es reduiran només un 20%.

6.2.1 Post-tractament

Pel que respecte a les mesures de post-tractament el seu objectiu principal és la generació de l'energia requerida en l'alimentació del motor on aquesta es requereix per tal de cremar més combustible del que és necessari durant la combustió d'aquest.

Reducció selectiva no catalítica

El mètode per a la reducció selectiva no catalítica es basa en la reducció química de la molècula de l'òxid de nitrogen per a ser convertida en nitrogen molecular i vapor d'aigua. Principalment el gas d'escapament li és injectat un reactiu com podria ser la urea o l'amoniac i afavoreix la reacció química de reducció.

Reducció catalítica selectiva

El mètode per a la reducció catalítica selectiva consisteix en el muntatge d'una carcassa en format d'embut i aquest conté un catalitzador. A la carcassa se li injecta un agent reductor com els mencionats anteriorment, la urea o amoníac, cosa que provoquen que l'òxid de nitrogen es vegi reduïda químicament a N₂ i a H₂O (nitrogen molecular i vapor d'aigua) .

6.3 TECNOLOGIES DE REDUCCIÓ DE SO_x

6.3.1 Combustible en baix contingut en Sofre

La opció més fàcil però no més econòmica a tenir en consideració és la d'emprar combustibles que tinguin un baix contingut en tant per cent en massa a massa. A continuació es detallen els combustibles que són considerats en baix contingut en sofre ordenats de menor a major.

- ULSMGO: Ultra low Sulfur Marine Gas Oil - Inferior a 0,0015%
- LSMGO: Low Sulfur Marine Gas Oil - Inferior a 0,1%
- MGO: Marine Gas Oil - Entre 0,1 i 1,5%
- MDO: Marine Diesel Oil - Entre 1 fins a 4,5%
- LS 180: Low Sulphur 180 - Menys d'1%
- LS 380: Low Sulphur 380 - Menys d'1%
- IFO 180: Intermediate Fuel Oil 180 - Menys de 3,5%
- IFO 380: Intermediate Fuel Oil 380 - Menys de 3,5%

6.3.2 Rentat de gasos d'escapament - Scrubber

El mètode per a la reducció d'emissions per mitjà del rentat dels gasos d'escapament es fonamenta en la neteja de les emissions contaminants que conté els gasos produïts en la combustió. Aquesta tecnologia és denominada Scrubber i es basa en sistemes per a la depuració tant de gasos com partícules de matèria que es donen en la combustió. La tecnologia Scrubber acull diferents sistemes i es diferencien si són de tipus humit o bé sec.

Tipus humit

Van ser els primer en ser desenvolupats en el sector naval i el seu principi es basa en posar en contacte els gasos que provenen de la combustió amb la solució per a produir-se el rentat. Normalment s'empren solucions d'aigua per a produir el rentat dels gasos. El procés de rentat es podria resumir en primer els gasos són rentats en la torre de refrigeració i l'aigua emprada és tractada a la planta de tractament per eliminar els contaminants de l'aigua de rentat. Els residus que generin en la planta seran emmagatzemats en el tanc de fangs per a ser eliminats a terra ja que a bord no es poden cremar.

Dintre del Scrubber tipus humit existeixen diferents variacions segons si el seu circuit és obert o bé tancat.

- **Obert**

El sistema obert emprà l'aigua de mar per a la neteja del gasos d'escapament, aprofitant les seves característiques naturals d'alcalinitat que la fa ideal per neutralitzar les emissions d'òxids de sofre. Un cop s'hagi tractat l'aigua és retornada al mar.

- **Tancat**

En casos on les característiques de l'aigua de mar pel que respecte a la seva alcalinitat siguin desfavorables no és viable poder emprar un circuit d'aigua obert. És doncs que l'aigua que serveix pel rentat és aigua dolça tractada químicament per tal d'afavorir l'alcalinitat i el producte que s'empra és l'hidròxid de sodi normalment.

El circuit d'aigua tractada químicament, se n'extreu una certa quantitat per tal de ser tractada de nou i complimentar amb les normatives establertes per la IMO.

- **Híbrid**

Pel que respecte el sistema d'Scrubber híbrid permet emprar els dos sistemes mencionats anteriorment per tal de poder tenir el sistema obert quan les condicions d'aigua de mar ho permetin i quan no sigui el cas, poder emprar un sistema tancat per tal de reduir les emissions d' SO_x .

Tipus sec

Aquests tipus d'Scrubber són poc emprats a bord dels vaixells tot i que comença a existir una tendència en desenvolupar aquesta tecnologia dintre del sector naval. Tanmateix fer especial menció que aquesta tecnologia pot arribar a reduir les emissions de SO_x fins a un 99%.

El seu principi es fonamenta en emprar l'hidròxid de calci com a mitjà pel rentat dels gasos fet que com a conseqüència genera sulfat de calci. Durant el procés aconsegueix eliminar els SO_x i partícules sòlides que puguin haver-se ocasionat fent circular els gasos de manera horitzontal sobre una superfície de calç.

Capítol 7. Eficiència energètica: Mètodes per a la millora

7.1 PREFACI

L'estalvi en concepte de millores en l'eficiència energètica s'entén com a les mesures que s'emprenen en un vaixell com es poden distingir en cinc grans grups: les que afecten al casc, al motor principal, al motors auxiliars, el conjunt propulsiu tant timó com el propi propulsor i els sistemes de control. La única finalitat és la d'aconseguir una reducció i sempre es representa en tant per cent, és a dir el mètode que sigui implantat quin marge de reducció assoleix en clau d'estalvi energètic pel vaixell.

A continuació en la següent pàgina es pot veure una taula resum dels mètodes que s'han considerat segons l'estudi d'eficiència energètica realitzat per Ecofys i complementat amb altres mètodes considerades per l'autor del treball.

Taula 2. Mètodes per la millora energètica (Elaboració pròpia - Study on energy efficiency)

Categoria	Mètode / Mesura	Rang estimat d'eficiència [%]	Eficiència en condicions normals [%]	Tipus de vaixells	Temps d'amortització	Tipus d'inversió	Tipus de tecnologia	Referències
Casc	Optimització de la proa	2,5 - 20	10	Tots	Curt termini <3 anys	Mitjana	Convencional	(IMO 2009, IMO 2011, Crist 2009, Hochkirch und Bertram)
Casc	Revestiment del buc	1 - 9	5	Tots	Curt termini <3 anys	Baixa	Convencional	(IMO 2011, IMO 2009, ICCT 2011, Voorham 2013, Crist 2009)
Casc	Lubricació per aire	5 - 15	9	Nova construcció	Mig termini 4 - 15 anys	Mitjana	Experimental	(IMO 2011, IMO 2009, Crist 2009, DK Group 2015, CNSS 2015, ICCT 2011)
Motors auxiliars	Milliores del conductes comuns (Common Rail)	-	-	Tots	Mig termini 4 - 15 anys	Molt baixa	Convencional	(DNV GL 2015) (ICCT 2011) (IMO 2009)
Motor principal	Energia eòlica	5 - 44	20	Només vaixells especials	Llarg termini >15 anys	Alta	Experimental	(IMO 2011, IMO 2009, Crist 2009, ICCT 2011, Brannigan, et al. 2009, Allenström 2013)
Motor principal	Energia solar	5-15	10	Tots els vaixells	Llarg termini >15 anys	Mitjana	Convencional	(Eco Marine Power, International Renewable Energy Agency)
Motor principal	Modificació de la velocitat de disseny	2 - 4	3	Tots excepte Ferris i Creuers	Mig termini 4-15 anys	Baixa	Convencional	(IMO 2011, IMO 2009, Crist 2009, Wettstein und Brown 2008, DNV GL 2015)
Motor principal	Milliores del conductes comuns (Common Rail)	0,1 - 0,5	0,3	Tots els vaixells	Mig termini 4-15 anys	Molt baixa	Convencional	(IMO 2009, Pakarinen 2007, ICCT 2011, Crist 2009)

Categoria	Mètode / Mesura	Rang estimat d'eficiència [%]	Eficiència en condicions normals [%]	Tipus de vaixells	Temps d'amortització	Tipus d'inversió	Tipus de tecnologia	Referències
Sistemes de control	Recuperació del calor residual	6 - 10	8	Vaixells de nova construcció	Mig termini 4-15 anys	Mitjana	Convencional	(IMO 2011, IMO 2009, Crist 2009, WÄRTSILÄ 2007, ICCT 2011)
Timó i propulsor	Bulb en el timó	2 - 5	4	Tots excepte Ferris i Creuers	Mig termini 4-15 anys	Baixa	Convencional	(IMO 2011, IMO 2009, Nielsen, Crist 2009, ICCT 2011)
Timó i propulsor	Col·locar aletes en l'hèlix	2 - 5	4	Tots excepte Ferris i Creuers	Curt termini <3 anys	Baixa	Convencional	(IMO 2009, MOL 2011, Hansen, Dinham-Peren und Nojiri 2011, Nielsen)
Timó i propulsor	Hèlix canalitzada	1 - 20	10	Tots excepte Ferris i Creuers	Mig termini 4-15 anys	Mitjana	Convencional	(IMO 2011, IMO 2009, Crist 2009, ICCT 2011)
Timó i propulsor	Hèlix contra-rotant	6 - 20	13	Només vaixells especials	Llarg termini >15 anys	Alta	Convencional	(IMO 2011, IMO 2009, Crist 2009, WÄRTSILÄ 2009, Shuto 2010)
Timó i propulsor	Hèlix de rotació lliure	10	10	Tots excepte Ferris i Creuers	Curt termini <3 anys	Mitjana	Convencional	(IMO 2009, Schneekluth und Bertram 1998, Brannigan, et al. 2009)
Timó i propulsor	Sistema Promas Lite o EnergoPac	2-20	10	Tots els vaixells	Curt termini <3 anys	Mitjana	Convencional	(Rolls Royce 2012, WÄRTSILÄ 2007)
Timó i propulsor	Timó no rígid o flexible	2 - 4	3	Tots excepte Ferris i Creuers	Mig termini 4-15 anys	Baixa	Convencional	(IMO 2009, Schulze 2007, Nakashima 2015, Becker Marine System 2015, Nielsen, Hollenbach und Friesch, Rolls-Royce 2014)

7.2 CASC

7.2.1 Optimització de la proa

Les diferents optimitzacions de la proa poden suposar una millora pel que respecte al flux d'aigua al voltant del buc i conseqüentment reduint la resistència per onades per a vaixells grans amb un alt coeficient de bloc que operin en velocitats comercials. L'estalvi d'energia de mitjana oscil·la entre els rangs del 2,5 fins el 20.

Bàsicament amb la optimització es modifica la forma en que l'aigua flueix a través del casc reduint la resistència i augmentant així la seva velocitat ja que l'hèlix treballa de manera més eficient, tanmateix augmenta l'eficiència en el consum de combustible i l'estabilitat del propi vaixell.

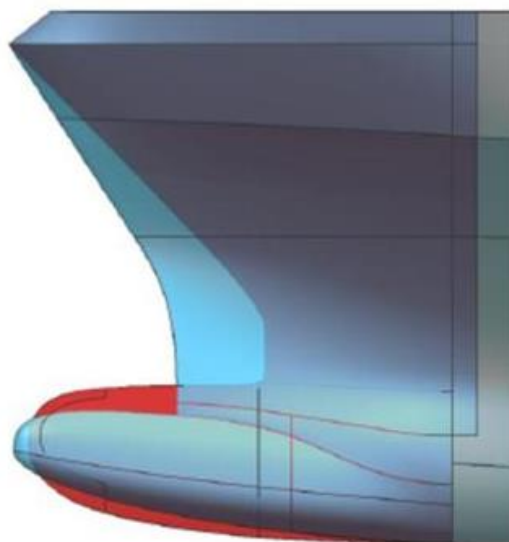


Figura 40. Optimització del bulb de proa (Cape Horn Engineering)

- Inconvenients

Suposa una pèrdua de beneficis considerable l'entrada del vaixell a dic sec per a realitzar l'optimització del bulb de proa.

Una altre impediment que es pot ocasionar es que les drassanes no facilitin els plànols del casc per tal d'evitar possibles plagis.

Els propietaris són els encarregats d'assumir els costos de la implementació però els que són beneficiats són els operadors del vaixell ja que són ells qui pagant el combustible consumit.

- La tecnologia i la tècnica de l'optimització està disponible en el mercat essent efectiva. I només requereixen de materials convencionals i el re-disseny es pot realitzar en poques setmanes.
- Es pot aplicar en tots els vaixells però els que resulten més beneficiats són els que disposen d'un alt coeficient de bloc com els petroliers i els de càrrega a granel ja que la reducció a la resistència per onades és més important.
- S'estima que el temps per a l'amortització es reverteixi en un període curt d'entre 1 i 3 anys, quan el bulb de proa es veu modificat en un període d'atracament regular.

7.2.2 Revestiment del buc

El revestiment del casc suposa una reducció a la resistència a al fricció del vaixell mentre que a la vegada impedeix la formació de vida marina en el casc (fouling). Pot arribar a suposar entre un rang de l'1 fins el 9% en estalvi del consum de combustible.

Per tal de poder obtenir beneficis en l'estalvi del consum de fuel s'ha de repetir la operativa cada 5 anys.



Figura 41. Revestiment del buc (Ecospeed 2015)

- Inconvenients

Els propietaris són els encarregats d'assumir els costos de la implementació però els que són beneficiats són els operadors del vaixell ja que són ells qui pagant el combustible consumit.

La reiteració de l'aplicació d'aquesta tecnologia per tal d'obtenir beneficis en concepte de consum de combustible és un període molt curt entre 3 i 5 anys.

- La tecnologia i tècniques pel revestiment estan disponibles en el mercat i només un 5% del vaixell que s'han pintat de nou són pintats amb els sistemes de revestiment avançats disponibles avui dia.
- Es pot aplicar a tots els tipus de vaixells.
- El temps d'amortització es preveu a curt termini en menys de 3 anys s'obtenen beneficis en estalvi del consum de combustible.

7.2.3 Lubrificació per aire

Aquesta tecnologia es basa en la lubricació per aire creant una capa de bombolles per sota del casc per tal de poder reduir encara més la fricció. Un sistema d'automatització regula compressors i bufadors depenen de la velocitat que navegui el vaixell. El funcionament dels bufadors mantenen els forats de sortida plens d'aire a la pressió definida i que requereixi en funció a la velocitat. Gràcies els bufadors i les fines capes creades per les bombolles creen sola i gran capa d'aire en tota la superfície inferior del vaixell i consegüentment redueix la fricció.

Depenent del tipus del vaixell l'eficiència en termes del consum de fuel varia entre els rangs de 5 i 15%, on els vaixells cisterna i els de càrrega a granel arribant a valors de 10 fins al 15% en clau de comparació amb els portacontenidor que oscil·len entre el 5 i el 9%.



- Inconvenients
Tecnologia que requereix de grans inversions de capital.
Els propietaris són els encarregats d'assumir els costos de la implementació però els que són beneficiats són els operadors del vaixell ja que són ells qui pagant el combustible consumit.

Figura 42. Lubricació per aire (Marine Insight)

- La tecnologia es troba en el mercat i està disponible però a dia d'avui està en fase de proves pilot.
- Només pot ser aplicats per a la nova construcció per a vaixells que disposin d'una superfície parcialment plana i de longitud mínima de 225 metres d'eslora, és degut a que els compressors presenten certes dificultats per a vaixells amb un major calat.
- El temps d'amortització varia entre curt i mig termini aproximadament entre 4 i 15 anys.

7.3 MOTORS AUXILIARS

7.3.1 Millora dels conductes comuns (Common-rail)

Segon l'estudi realitzat per Ecofys la millora dels motors auxiliars no comporta més d'un rang aproximat entre el 2 i el 4% en termes d'estalvi d'energia ja que aquests consumeixen molt menys fuel que el motor principal.

Les possibles millores a tenir en compte són la dels conductes comuns és a dir millorar els conductes de subministrament de fuel assolint una millora però no gaire significativa. Tanmateix, es pot emprar la mesura que es pot implementar és la de modificar la velocitat de disseny que opera, reduint-la i aconseguint un estalvi d'energia poc significatiu també.

També es contempen mesures per a millorar els sistemes auxiliars com el control de les bombes i ventiladors, millorar les estratègies dels sistemes d'aigua de refrigeració, el re-disseny de les canonades com el i instruments, la computació avançada dels sistema de temperatura i els sistemes de ventilació més optimitzats.

- Inconvenients

Els propietaris són els encarregats d'assumir els costos de la implementació però els que són beneficiats són els operadors del vaixell ja que són ells qui pagant el combustible consumit.

- La tecnologia està disponible i fàcil d'implementar i sense gaires costos en el seu manteniment.
- Es pot aplicar a tots els tipus de vaixells.
- El temps d'amortització es preveu a curt termini en menys de 3 anys s'obtenen molt pocs beneficis en estalvi del consum de combustible.

7.4 MOTOR PRINCIPAL

7.4.1 Energia eòlica

L'energia eòlica com s'ha comentat en el capítol 5.1, la propulsió a través de l'energia eòlica està considerada com un mètode per a millorar l'eficiència energètica.

- Inconvenients

Els propietaris són els encarregats d'assumir els costos de la implementació però els que són beneficiats són els operadors del vaixell ja que són ells qui pagant el combustible consumit.

Encara que aquesta tecnologia proporciona gran beneficis en eficiència energètica, la inversió és tant elevada que no hi ha un termini d'amortització curt pels costos ocasionats.

- La tecnologia encara està considerada com a tecnologia experimental.
- Es disposa de les tecnologies per a ser implementades i depèn del tipus que es vulgui emprar limitarà o no el seu ús segons el tipus de vaixell.
- El temps d'amortització és de llarg termini aproximadament més de 15 anys.

Rotors Flettner

La tecnologia dels rotors Flettner és basa en el principi de l'efecte Magnus. Aquest principi es regeix per un cilindre que es troba estàticament és sotmès a l'acció d'una corrent d'aire que l'és travessat transversalment, aquest experimenta un empeny transversal. En el supòsit que el cilindre es trobés en un moviment rotatiu, es crearia un remolí d'aire al voltant seu que generarien forces que desplacen l'objecte de la seva trajectòria ideal que aquest resultaria si no existís el fluid.

El fluid és l'aire aquest xoca perpendicularment al cilindre provocant una acceleració de l'aire en una de les cares del rotor mentre que l'altra desaccelera, generant una diferencia de pressions que genera l'empeny del propi vaixell. Aquest empeny no és suficient per a la propulsió principal però sí que ajuda en la reducció del consum de combustible alleugerant la càrrega propulsiva de l'hèlix i per tant un estalvi en eficiència energètica.

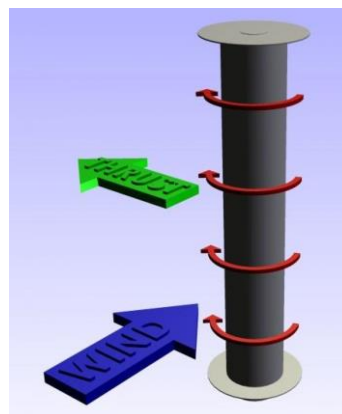


Figura 43. Principi del rotors Flettner (Motorship)

Bàsicament el rotor Flettner genera un impuls gràcies a l'efecte Magnus que és produït en el rotor que aquest es troba en moviment rotacional. El moviment és generat elèctricament per tant consumeix una demanda d'electricitat al voltant de 15 a 35kW. Per tal de poder alimentar la demanda d'energia mencionada anteriorment pels rotors, avui dia s'aprofiten els calors residuals generats pel motor principal per tal de generar el suficient vapor com per a ser subministrat en la turbina que aquesta acoblada a un generador converteix l'energia residual dels gasos d'escapament en l'energia elèctrica subministrada aquesta tecnologia.

Tot i els beneficis mencionats anteriorment els rotors Flettner presenten un desavantatge molt gran i és que afecten de manera considerable a l'estabilitat del propi vaixell.

L'estimació de l'estalvi en eficiència energètica es considera fins a un total del 20%.

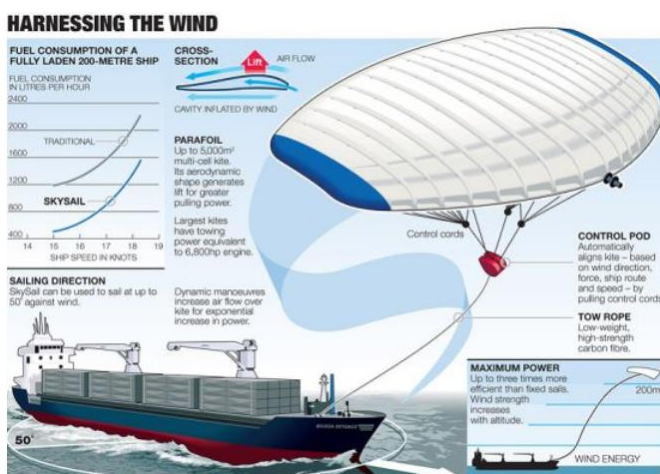


Figura 44. Ferri Copenhagen (Süddeutsche Zeitung)

Tecnologia Kite

La tecnologia denominada kite es fonamenta en l'assistència a la propulsió principal per mitjà d'un estel que aquest no requereix de l'ús de pal major. Les característiques principals que caracteritzen aquesta tecnologia:

- Al no usar pals majors per la vela implica que la zona de càrrega i la coberta principal no es vegin afectades per l'espai que aquests ocuparien.
- L'estel vola altituds molt altes per tant aquesta queda a la mercè de corrents d'aire més elevades en comparació d'altres tecnologies eòliques instal·lades a la superfície del vaixell
- L'estel pot ser controlat gràcies a el control pod que permet crear la pròpia velocitat de vol, augmentant la seva velocitat i la força d'atracció que genera. Significa que l'estel pot crea més força de tracció amb una àrea inferior.
- No genera escores no desitjades i elevades com podria donar-se en el cas de la propulsió amb veles no rígides.



En la figura 45 es pot comprovar el principi pel qual aquesta tecnologia es basa i la reducció que genera en el consum de combustible en la gràfica representada en la imatge. Per a velocitats iguals la corba del consum és considerablement més inferior essent un clar benefici energètic pel vaixell.

Figura 45. Tecnologia kite (Ecofriend)

S'estima que aquesta tecnologia depenent del tipus del vaixell i sobretot si les circumstàncies climatològiques són favorables pel correcte funcionament d'aquesta tecnologia es produeixin a l'ordre del 15% de beneficis en estalvi en l'eficiència energètica del vaixell, fet que provoca una reducció del consum de combustible.

Tanmateix els fabricants d'aquesta tecnologia apunten que aquest sistema és capaç de generar 25 vegades més propulsió que per metre quadrat que altres tecnologies considerades més convencionals del tipus eòliques.

Veles Rígides (Wingsails)

La tecnologia de les veles rígides el seu principi es basa en certa similitud als altres sistemes de propulsió assistida per vent com podria ser el rotor Flettner. El principi és similar al que es pot trobar en les ales dels avions i es regeixen els dos per l'efecte Bernoulli. El flux d'aire ataca la vela rígida creant una diferència de pressions entre les dues cares de la vela, essent una amb menor pressió respecte l'altra. El flux d'aire és accelerat en una de les cares incrementant doncs la pressió de la cara de la vela i pel que respecte a l'altra vessant de la vela la velocitat es veu reduïda i la pressió disminueix. Aquest efecte crea una força originada deguda a l'increment de pressió en una de les cares aquesta força en els avions és anomenada força de sustentació que permet l'avió volar, i en el nostre cas en les veles rígides la força generada seria un empeny que aquesta genera en el vaixell ajudant a la propulsió i conseqüentment reduint el consum de combustible i per tant en un estalvi en l'eficiència energètica.

Aquesta tecnologia pot ser instal·lada a qualsevol tipus de vaixell a excepció dels portacontenidors, tant de nova construcció com els existents que necessitin un procés de modernització. Mencionar que la instal·lació del mètode no genera cap impacte negatiu pel que respecte a la disminució de la carga ja que no ocupen bodegues o d'espais d'emmagatzematge com poden ser els tancs perquè només es destinat un determinats metres quadrats en la coberta.

La seva operativa permet que les veles puguin tenir un angle de gir de 360° gràcies el sistema hidràulic que el conforma. El grau de llibertat sobre l'eix d'abscisses beneficia el vaixell ja que en funció de la direcció del vent podrà orientar de la manera més òptima el sistema per obtenir la màxima optimització que en definitiva es converteix en un major estalvi en eficiència energètica.

Es calcula que aquesta tecnologia pugui arribar a estalviar en eficiència energètica al voltant del 40% cosa que suposaria que fos una de les millors tecnologies de caire renovable a implementar en vaixells.



Figura 46. Veles rígides (A new type of collapsible wing sail and its aerodynamic performance)

7.4.2 Energia solar

L'energia solar com s'ha comentat en el capítol 5.1, la propulsió a través de l'energia solar esta considerada com un mètode per a millorar l'eficiència energètica. No obstant l'energia solar pot ser emprada com una font secundària per a sistemes auxiliars, ja que aquesta no té la capacitat suficient de subministrar les altes demandes de càrrega que vaixells de dimensions mitjanes i grans requereixen per a l'alimentació de la pròpia planta i encara menys per a la propulsió principal.

Tot i no ser considerada com una molt bona alternativa per a la generació d'energia per a satisfer les necessitats, aquestes són econòmicament viables ja que el seu cost d'instal·lació no és elevat, però per tal de poder emmagatzemar l'energia que puguin generar necessitaran de sistemes híbrids com puguin ser les bateries. Aquest tipus de sistema híbrid avui dia, amb la tecnologia que es disposa és inviable propulsar vaixells de la marina mercant almenys com a única font d'energia.

Per una altra banda aquesta tecnologia és emprada en vaixells de dimensions petites on la seva planta elèctrica no tingui altes demandes com també es poden veure en embarcacions d'esbarjo com poden ser els iots ja que aquests tenen una demanda molt baixa en clau de comparació amb els mercants.

Per concloure aquesta tecnologia també pot trobar-se en un altre format d'híbridació que és amb conjunció l'energia renovable eòlica, concretament amb les veles rígides. Aquest sistema es fonamenta en l'estalvi en concepte de consum de combustible que acaba essent un estalvi en l'eficiència energètica del vaixell gràcies a les tecnologies de les veles rígides amb els panells fotovoltaics.

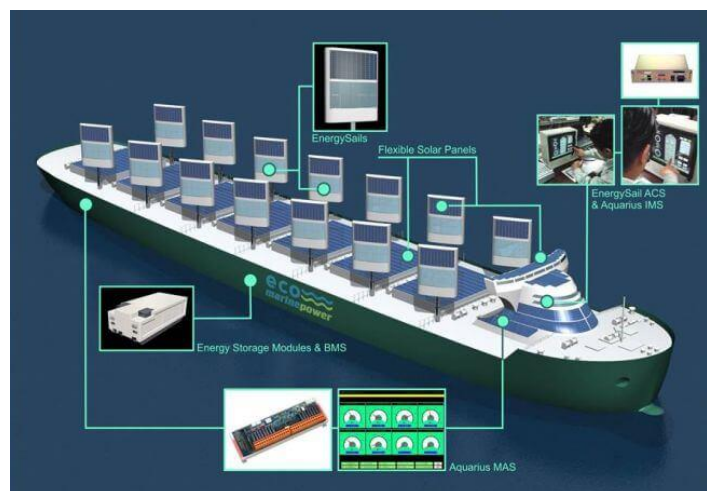


Figura 47. Sistema híbrid veles rígides i panell solars (Marineinsight)

L'estimació que s'ha calculat per l'energia depenent del vaixell es calcula que podria rondar entre el 5 i el 15% sempre i quan les condicions climatològiques siguin favorables a la tecnologia i es tractin de vaixells de dimensions reduïdes, mentre que les condicions més desfavorables se les endurien els vaixells que tinguin dimensions mitjanes i grans amb una alta càrrega en la demanda d'energia per a la planta elèctrica dels propis vaixells.

7.4.3 Modificació de la velocitat de disseny

La velocitat de disseny es veu reduïda reduint la potència del motor principal. La reducció de potència conjuntament amb el temps d'injecció avançat, per tal de restablir la màxima pressió de combustió, és una mesura que pot arribar a obtenir uns beneficis en l'eficiència de l'eix. En consonància amb els anteriors beneficis el consum de combustible es pot veure reduït entre un 2 i 4% quan es realitza una reducció de la potència per càrregues inferiors a la màxima càrrega de disseny.

- Inconvenients

Un vaixell més lent repercutirà en una menor font ingressos, cosa que ningú desitja.

La mesura només ha de ser emprada quan el vaixell ja no pugui operar a la velocitat de disseny.

Els propietaris són els encarregats d'assumir els costos de la implementació però els que són beneficiats són els operadors del vaixell ja que són ells qui pagant el combustible consumit.

- La tecnologia està disponible en el mercat i ha resultat ser molt efectiva per motors més antics que normalment es construïen amb una baixa relació de compressió i conseqüentment tenen un potencial significatiu de millora
- Es pot aplicar a tots els tipus de vaixells.
- El temps d'amortització varia entre curt i mig termini aproximadament entre 4 i 15 anys.

7.4.4 Millora dels conductes comuns (Common-rail)

Els motors d'injecció de combustible amb conductes comuns operen millor segons les condicions de baixa càrrega. La injecció del combustible del tipus common-rail és una tècnica que s'empra en motors dièsel i es fonamenta en la injecció del combustible en el cilindre tenint tot el control per tal de millor la combustió. Aquesta tecnologia permet iniciar i la duració de la injecció independentment la posició que els pistons puguin tenir permetent doncs una injecció per carrera operacional de la manera més optimitzada. El potencial d'eficiència energètica es calcula entre el 0,1 i el 0,5%.

- Inconvenients

La mesura comporta la implementació d'electrònica que aquesta pot arribar algun dia a més possibilitats d'errors.

Els propietaris són els encarregats d'assumir els costos de la implementació però els que són beneficiats són els operadors del vaixell ja que són ells qui pagant el combustible consumit.

- La tecnologia està avui dia disponible per a ser implementada.

- Es pot aplicar a tots els tipus de vaixells de nova construcció i els que es sotmeten a un procés de modernització. En especial menció pels vaixells cisterna, de càrrega a granel, portacontenidors i vaixells de càrrega rodada.
- El temps d'amortització varia entre curt i mig termini aproximadament d'uns 5 anys.

7.5 SISTEMES DE CONTROL

7.5.1 Recuperació del calor residual

La tecnologia de recuperació de calor residual en anglès Waste Heat Recovery (WHR) es basa en fer passar els gasos d'escapament dels motors del vaixell a través d'un intercanviador de calor per tal de generar vapor que aquest posteriorment serà convertit a través d'una turbina i un generador en electricitat per tal de poder reduir directament el consum de fuel del motor principal o bé emprada per reduir les demandes d'electricitat dels motors auxiliars. L'energia estalviada emprant aquest sistema oscil·la entre el 6 i el 10%.

- Inconvenients

La implementació d'aquest sistema requereix d'una forta inversió econòmica que oscil·la depenent del tipus de vaixell i el tipus d'instal·lació. Per exemple el preu per un portacontenidors de dimensions grans oscil·la entre els 5 i 6 milions de dòlars.

Els propietaris són els encarregats d'assumir els costos de la implementació però els que són beneficiats són els operadors del vaixell ja que són ells qui pagant el combustible consumit.

- La tecnologia està al mercat i disponible.
- El sistema només és implementat aquells vaixells que tenen una alta producció de calor residual i una alta demanda d'energia per a subministrar a la planta. És doncs que el sistema serà usat per vaixells els quals els motors principals subministren una potència de més de 20.000 kW i els motors auxiliars una demanda superior de 1.000kW. tanmateix la tecnologia pot ser implementada per a vaixells de tot tipus ja siguin de nova construcció com també els modernitzats.
- El temps d'amortització varia entre curt i mig termini aproximadament entre 4 i 15 anys.

Motors Stirling

El motor Stirling és una màquina tèrmica alternativa de combustió externa. Aquest motor és capaç de convertir calor en treball i té la peculiaritat que és la única màquina tèrmica reversible podent produir calor en treball a través del cicle termodinàmic tancat i de regeneració. El motor treballa amb expansions i compressions de caràcter cíclic amb el fluid de treball a diferents temperatures, que aquest està dirigit pels canvis de volum.

Les característiques principals d'aquest motor són la d'un menor manteniment en comparació a altres màquines tèrmiques, té el major rendiment termodinàmic teòric ja que assoleix el rendiment de Carnot. El costs de fabricació són elevats ja que el motor Stirling empra materials molt cars i costa quasi el doble en comparació a un motor dièsel per a igual potència a desenvolupar. Tanmateix un inconvenient a tenir en compte per aquest tipus de màquines tèrmiques és l'arrencament d'aquestes i la seva durada llarga en els canvis de règim.

No obstant un altra avantatge és que pot usar calor de qualsevol combustible ja que és una màquina de combustió externa. Que la converteix en un factor clau per a la recuperació en la calor residual.

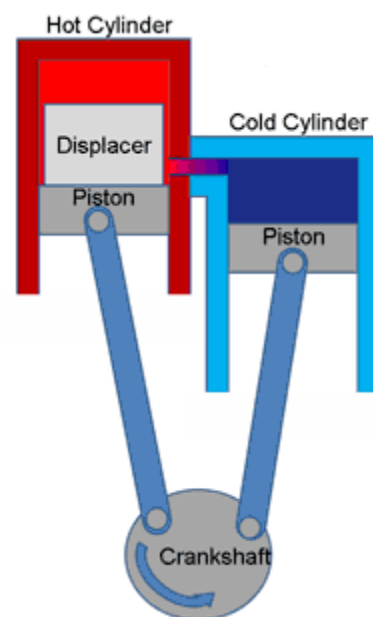


Figura 48. Principi d'un motor Stirling Configuració Gamma (Electropaedia)

És doncs que les màquines tèrmiques de combustió externa com la Stirling són ideals per a la reutilització dels gasos d'escapament, que seria la font de calor, aprofitant en forma de gradient tèrmic per a la generació de moviment. Només s'ha de capacitar al motor amb la font de calor residual que el vaixell generi com pot ser les xemeneies o circuits de refrigeració.

Finalment un alternador és acoblat al motor per la transformació d'energia mecànica en elèctrica generant energia neta d'una font que abans es malbaratava llençant-la directament a l'atmosfera. La generació d'energia no és molt elevada, però s'ha de tenir en compte el reaprofitament que se'n fa dels gasos d'escapament. S'estima que el temps d'amortització sigui a mig i llarg termini on es produiran beneficis en clau energètics entre els rangs de 4 i 15 anys, ja que els costs són elevats pel que respecte a la fabricació dels motors.

Els motors Stirling i la seva implementació resulta ser viable per a mercants de dimensions mitjanes i grans ja que es necessita d'un ampli espai en la zona de les xemeneies per tal de poder obtenir una energia elèctrica de magnituds a tenir en consideració. S'estima que el seu màxim aprofitament en estalvi energètic oscil·la entre els rangs del 5 fins 10% depenent del tipus de vaixell i les dimensions del motor Stirling per a la conversió d'energia.

7.6 TIMÓ I PROPULSOR

7.6.1 Bulb en el timó

Afegir un bulb en el timó comporta que l'entrada del flux d'aigua sigui més suau. Les aletes del timó produeixen un empeny en els fluxos rotacionals que són generats per l'hèlix. Aquesta tecnologia pot suposar una millora entre el 2 i 5%.

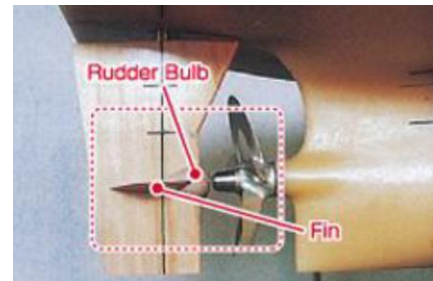


Figura 49. Bulb en el timó (Kawasaki RBS-F timó amb bulb i aletes)

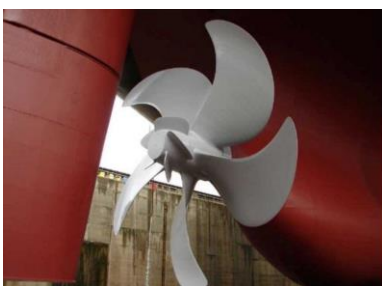
- Inconvenients

El treball s'ha de realitzar en el dic sec i això no succeeix amb molta freqüència en els vaixells.

Els propietaris són els encarregats d'assumir els costos de la implementació però els que són beneficiats són els operadors del vaixell ja que són ells qui pagant el combustible consumit.

- És una tecnologia fàcil d'implementar mentre el vaixell estigui en règim de dic sec.
- És una tecnologia que poden emprar vaixells tant de nova construcció com en procés de modernització que disposin d'una sola hèlix i un sol timó com poden ser vaixells cisterna, de càrrega a granel, portacontenidors o de càrrega rodada. Queden exclosos ferris i creuers.
- El temps d'amortització varia entre curt i mig termini aproximadament entre 4 i 15 anys.

7.6.2 Col·locar aletes en l'hèlix



Les aletes que són implementades en l'hèlix són capaces de recuperar la pèrdua d'energia del vòrtex i poden implicar fins a un estalvi d'energia en l'hèlix del 3 fins el 5%. Redueixen el parell de l'hèlix, com també la vibració en la zona de la popa i la erosió del timó.

Figura 50. Col·locació d'aletes en l'hèlix (Gcaptain)

- Inconvenients

Eliminació de les tapes de l'hèlix i la seva substitució per les aletes en el dic sec.

Els propietaris són els encarregats d'assumir els costos de la implementació però els que són beneficiats són els operadors del vaixell ja que són ells qui pagant el combustible consumit.

- La tecnologia està al mercat i disponible.

- És una tecnologia que té un cost d'inversió menor i s'ha provat en portacontenidors de grans dimensions. Aquest mètode resulta efectiu per a totes les hèlixs independentment de la forma del casc. És doncs que serveix per a tots els vaixells quedant exclosos ferris i creuers.
- El temps d'amortització es preveu a curt termini en menys de 6 mesos s'obtenen beneficis en estalvi del consum de combustible.

7.6.3 Hèlix canalitzada

L'hèlix canalitzada consisteix en una hèlix la qual està envoltada per un conducte no giratori. En comparació amb una hèlix convencional la disposició canalitzada afavoreix l'entrada del flux d'aigua millorant les condicions de funcionament de l'hèlix i conseqüentment la seva eficiència propulsiva. Aquest mètode d'estalvi d'energia oscil·la entre el 1 fins el 20%. Mencionar que la resistència a l'aigua que genera el conducte que canalitza l'hèlix és superada amb les millores que s'aconsegueixen amb l'hèlix canalitzada



Figura 51. Hèlix canalitzada (Nozzle propeller - Safety4sea)

- Inconvenients
El conducte que canalitza l'hèlix té una velocitat de funcionament òptima per tant no funciona de manera eficient amb totes les velocitats.
Els propietaris són els encarregats d'assumir els costos de la implementació però els que són beneficiats són els operadors del vaixell ja que són ells qui pagant el combustible consumit.
- La tecnologia està al mercat i disponible en diferents dissenys estandarditzats.
- Especialment dissenyats per a vaixells amb càrregues d'hèlix elevades com poden ser petroliers de càrrega a granel, i vaixells de serveis a alta mar. Queden exclosos els ferris i creuers.
- El temps d'amortització varia entre curt i mig termini aproximadament entre 4 i 15 anys.

7.6.4 Hèlix contra-rotant

Una hèlix contra-rotant aprofita l'energia que es perd amb la rotació de l'hèlix convencional. En una configuració contra-rotativa, dues hèlix són contraposades l'una respecte a l'altra rotant en direcció oposada. L'hèlix de popa recupera l'energia de la rotació a partir de l'estela que genera l'hèlix de proa. Per evitar possibles casos de cavitació l'hèlix posterior acostuma a tenir un diàmetre més petit que la davantera. Es calcula que l'estalvi que genera aquest mètode compregui els rangs del 6 fins el 20%.



Figura 52. Hèlix contra-rotant (Japan Marine United Corporation)

- Inconvenients

La instal·lació mecànica dels eixos contra-rotatius és complexa i requereix de més manteniment. Els propietaris són els encarregats d'assumir els costos de la implementació però els que són beneficiats són els operadors del vaixell ja que són ells qui pagant el combustible consumit.

Encara que la tecnologia aportí estalvis energètics a tenir en consideració, la inversió inicial és molt elevada que no hi ha un termini curt d'amortització de la inversió.

- La tecnologia està disponible en el mercat però s'han detectat problemes amb les caixes d'engranatges de les hèlixs contra-rotant com també problemes operatius durant el muntatge.
- La tecnologia és bastant eficaç per hèlix amb índex de càrrega elevats com poden ser vaixells de carrega rodada o portacontenidors. Poden ser instal·lades en vaixells en procés de modernització però la seva complicada instal·lació mecànica indica que sigui més probable per a vaixells de nova construcció.
- El temps d'amortització és de llarg termini aproximadament entre 15 i 20 anys.

7.6.5 Hèlix de rotació lliure

Tecnologia que es fonamenta en la implementació en una hèlix de gir lliure que és acoblada al darrera de l'hèlix principal que aquesta, té un diàmetre inferior a la de gir lliure. L'hèlix de diàmetre inferior genera l'empeny a la hèlix de gir lliure que la seva part interior del rotor actua com una turbina i per la part exterior com una hèlix addicional del propulsor.



Figura 53. Hèlix de rotació lliure (Wikimedia Commons)

Aquest mètode comporta una recuperació de manera substancial de l'energia rotativa. S'ha calculat que l'estalvi energètic estaria al voltant del 10%.

El major benefici d'aquesta tecnologia és al seva instal·lació en hèlixs propulsives més petites i aquestes consumiran menys energia.

- Inconvenients

Els propietaris són els encarregats d'assumir els costos de la implementació però els que són beneficiats són els operadors del vaixell ja que són ells qui pagant el combustible consumit.

Problemes en la resistència de les pales de l'hèlix de rotació lliure.

- La tecnologia està limitada la seva aplicació ja que està subjectes a fortes fluctuacions de càrrega.
- El mètode és efectiu per tots els vaixells independentment del buc que el conformi tant per nova construcció com pels que estiguin en procés de modernització. Queden exclosos els ferris i creuers.
- El temps d'amortització es preveu a curt termini en menys de 3 anys s'obtenen beneficis en estalvi del consum de combustible.

7.6.6 Sistema Promas Lite (Rolls Royce) - Energopac (Wärtsilä)

El sistema Promas Lite tant l'Energopac es basen en el mateix principi, el d'unir per mitjà d'un apèndix l'hèlix amb el timó obtenint beneficis considerables pel que respecte en eficiència energètica reduint el consum del motor principal.

Promas Lite

El sistema Promas integra el propulsor i el timó amb un mateix sistema dissenyats específicament per a vaixells en servei. Amb el nou sistema propulsiu els beneficis són elevats en terme deficiència propulsiva, consum de combustible, conseqüentment en emissions i una significant millora en la maniobrabilitat del vaixell de caràcter opcional.

Aquest sistema pot ser implementat per vaixells que operin amb una com en dos elements propulsius. Tanmateix els millors rendiments han estat assolits en vaixells de càrrega a granel d'un sol element propulsiu amb un alt coeficient de bloc.

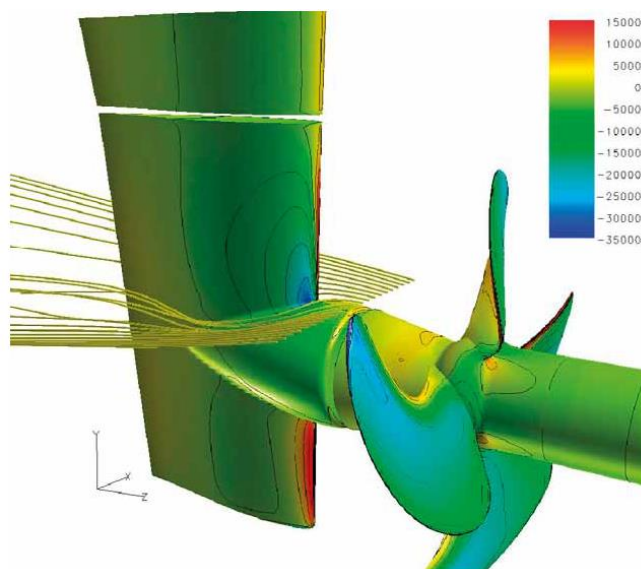
Pel que respecte a beneficis en eficiència propulsiva Promas Lite assoleix entre un rang del 8 fins el 16% encara que en pronòstic més optimistes pot arribar a suposar beneficis del 20%

El sistema és equipat amb un hubcap que s'ajusta a l'hèlix i agilitza el flux cap al bulb del timó, aconseguint reduir de manera efectiva el flux a la separació immediata entre l'hèlix i el timó. El resultat és un augment en l'empeny que l'hèlix pot generar ja que l'energia que abans es malbaratava és recuperada pel flux.

El bulb en el timó també ajuda a agilitzar el flux de la part posterior del timó, reduint encara més la resistència del fluid en ell. EL hubcap és muntat fora de l'hèlix i actua merament com un carenat hidrodinàmic.

El sistema Promas també pot adoptar la tecnologia del timó no rígid o flexible per millorar eficiències i maniobrabilitat.

Figura 54. Sistema Promas Lite (Rolls Royce)



Energopac

El sistema Energopac es basa en el mateix principi i és bàsicament la unió en un mateix sistema de l'hèlix i el timó per mitjà d'un hubcap. El sistema es desenvolupa amb un caràcter molt satisfactori en per les hèlixs amb un nucli relativament gran. El potencial estalvi energètic és gran quan es tracten vaixells amb sistemes d'hèlix de pas controlable de càrrega alta com el vaixells de càrrega rodada, portacontenidors, ferris, vaixells multi-propòsits. Tanmateix el sistema pot operar amb hèlix de pas fixe.

La reducció del consum de combustible depèn en gran mesura del tipus del vaixell, l'estimació realitzada per la companyia Wärtsilä varia entre el rangs de 2 i 9%.

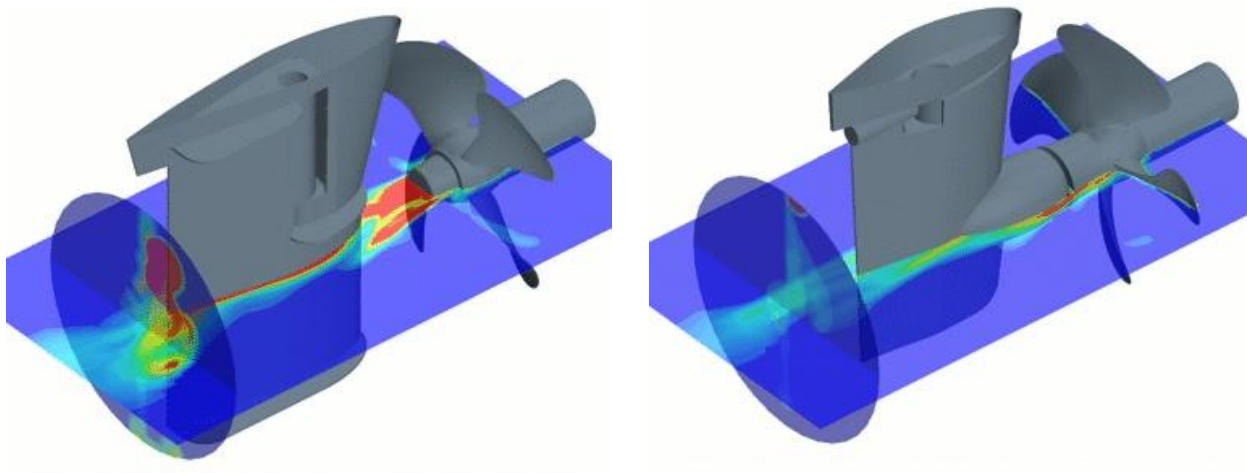
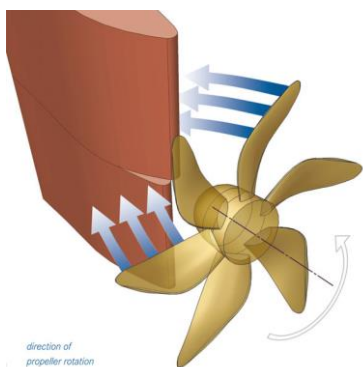


Figura 55. Comportament hidrodinàmic d'un propulsor convencional (Wärtsilä) - Imatge esquerra

Figura 56. Comportament hidrodinàmic del sistema Energopac (Wärtsilä) - Imatge dreta

7.6.7 Timó no rígid o flexible

El disseny convencional del timons tenen un perfil simètric sobre el plànol vertical central i estan ubicats darrera de les hèlixs conseqüentment del flux turbulent que generen tenen un paper important en la resistència friccional. Aquesta disposició no té en compte que l'hèlix indueix un flux rotacional a tenir molt en consideració que colpeja la pala del timó. Fet que té unes conseqüències negatives en les zones de la pala on hi ha menys força localitzada que condueixen a la cavitació i la erosió associada.



El timó no rígid o flexible està tocat horitzontalment per la part superior i inferior. Fet que provoca una disminució de la cavitació produïda en el timó i millores en la maniobrabilitat del vaixell. S'estima que els beneficis oscil·len entre el 2 i el 4% per a vaixells grans i d'alta velocitat.

Figura 57. Timó no rígid o flexible (Becker Marine Systems)

- Inconvenients

El treball s'ha de realitzar en el dic sec i això no succeeix amb molta freqüència en els vaixells.

Els propietaris són els encarregats d'assumir els costos de la implementació però els que són beneficiats són els operadors del vaixell ja que són ells qui pagant el combustible consumit.

- És una tecnologia fàcil d'implementar i està disponible.
- El mètode pot ser emprat per a tots els vaixells especialment en portacontenidors, de càrrega frigorífica, tipus Ro-Pax. Queden exclosos els creuers i ferris.
- El temps d'amortització es preveu a curt termini en menys de 3 anys s'obtenen beneficis en estalvi del consum de combustible.

Capítol 8. Aplicació pràctica en vaixell

8.1 CAS PRÀCTIC A ESTUDIAR

8.1.1 Justificació

El mètode pel qual ha estat seleccionat el vaixell M/T Herbania ha sigut per elecció pròpia del autor del treball i descartant altres vaixells com a alternatives per a ser estudiats i analitzats.

En primer lloc l'autor recopilà un llistat de vaixells que no es poden fer públics els seus respectius noms els quals existien diverses alternatives. En la primer tall de selecció es va procurar que almenys hi haguessin un vaixell de cada tipus independentment de les dimensions.

En la primera part del procés la llista estava configurada de la següent manera:

- Vaixell de Càrrega a Granel: DWT: 9.101 T, GT: 6.498 T, LOA: 135,52 m
- Vaixell de Càrrega de Fuel o Petrolier: DWT: 159,99T, GT: 81.310T, LOA: 274,20 m
- Vaixell de Càrrega Refrigerada: DWT: 16.580T, GT: 17.421T, LOA: 188,60 m
- Vaixell de Càrrega Química o Cisterna: DWT: 7.066 T, GT: 5.662 T, LOA: 109,86 m
- Vaixell de Càrrega Rodada: DWT: 4.004 T, GT: 3.998 T, LOA: 90,84 m
- Vaixell de Càrrega Contenidors o Portacontenidors: DWT: 5.336 T, GT: 3.992 T, LOA: 101,12 m
- Vaixell de Càrrega General: DWT: 5.491 T, GT: 4.591 T, LOA: 108,16 m
- Vaixell de Càrrega LPG: DWT: 8.612 T, GT: 7.465 T, LOA: 115,00 m
-

Essent:

- DWT: Deadweight; en català Pes Mort
- GT: Gross Tonnage; en català Arqueig Brut
- LOA: Length Overall; en català Eslora Total

El procés de descartar va iniciar-se en els dos vaixells que es diferenciaven més de la resta suprimint el petrolier i el de càrrega refrigerada. Un cop en queden sis l'autor en va descartar tres més en funció de l'edat del vaixell ja que no té massa sentit estudiar l'eficiència energètica d'un vaixell que té es mou entre el rang de 27 i 39 anys els quals la vida útil no sigui almenys de 20 anys per a recuperar possibles inversions que es facin.

Finalment en queden tres de vaixells els quals l'autor havia de seleccionar un entre els restants de la llista realitzat el segon tall; on les possibilitats eren el LPG el cisterna o el general.

Finalment el vaixell seleccionat ha estat l'Hernbania, el vaixell cisterna essent aquest el més jove de tots tres i el que probablement arribi a obtenir en un major temps més estalvi en concepte d'eficiència energètica.



Figura 58. M/T Herbania (AIS Live)

8.1.2 Especificació tècnica del vaixell

Nom del Vaixell:	HERBANIA
Número IMO:	9674828
Dades Generals:	KR,+KRS1-Oil/chemical tanker (FBC); Asphalt Product/II 1G 1.3 S.G. (IBC), +KRM1-UMA
Eslora total:	109,86 m
Eslora entre perpendiculars:	101,98 m
Mànega:	18,22 m
Puntal:	10,00 m
Calat:	7,21 m
Arqueig brut:	5.662 GT
Pes mort:	7.066 DWT
Desplaçament:	10.937 T
Velocitat màxima:	13,2 kn
Any de construcció:	2013
Motor Propulsor:	Hyundai 6H32/40P - 3.000 kW a 750 rpm
Motors auxiliars:	Hyundai 5H17/28 - 3 x 600 kW a 1.000 rpm
Calderes:	AT 2 x 1.530.612 kcal/h
Economitzador:	AT 1 x 386.930,21 kcal/h
Hèlix propulsora:	Hèlix de pas fixe 4 pales (Cu3) Ni-Al-Bronze
Timó	Becker
Hèlix de proa	Rolls-Royce 400kW



Figura 59. M/T Herbania dic sec (Del acontecer marítim - Wordpress)

8.2 ESTUDI DE L'EFICIÈNCIA ENERGÈTICA DEL VAIXELL

La manera de realitzar l'estudi es centrarà en les mesures de caràcter d'eficiència energètica que aquestes puguin ser implementades en el vaixell. No realitzaran canvis de sistema propulsus convencionals ni alternatius, com tampoc les possibles alternatives de futur ja que aquestes avui dia no són viables i no tindria cap mena de sentit aplicar-les ja que només serviria a nivell teòric. L'objectiu de l'estudi doncs, es focalitza en quin podrà ser el màxim i el mínim, optimista i pessimista respectivament, de beneficis energètics podrà disposar en l'actualitat en aquest vaixell.

8.2.1 Estudi amb una visió optimista

Taula 3. Estudi eficiència energètica visió optimista (Elaboració pròpia)

Mètode o Mesura	Aplica o No	Temps d'amortització [Anys]	Inversió	Eficiència [%]	Comentaris
Optimització de la proa	NO	-	-	-	La construcció del vaixell és de l'any 2013, per tant és innecessari el canvi de bulb de proa.
Revestiment del buc	SÍ	< 3	Baixa	9	El vaixell està en operativa durant 7 anys per tant aquesta tecnologia pot ser implementada ja que té una periodicitat de 5 anys.
Lubricació per aire	NO	-	-	-	Ja que aquesta tecnologia només s'implementa per a vaixells de nova construcció.
Millores del conductes comuns	-	-	-	-	El benefici d'implementar aquesta tecnologia no suposa més d'un 0,1% per tant es decideix que no és necessària la inversió.
Kite	SÍ	< 3	Baixa	15	Els sistema kite és un molt bon sistema a ser implementat ja que la relació entre el cost i el benefici és alt.
Rotors Flettner	NO	-	-	-	És una mesura que té un alt elevat cost i els seu temps d'amortització és superior a 15 anys.
Veles Rígid	NO	-	-	-	És una mesura que té un alt elevat cost i els seu temps d'amortització és superior a 15 anys.
Energia solar	SÍ	$4 < x < 15$	Baixa	15	És una mesura que pot ser instal·lada a bord i ajudarà a subministrar energia els sistemes auxiliars reduint la demanda dels motor aux.
Modificació de la velocitat de disseny	NO	-	-	-	És una mesura que no es contempla la de reduir la velocitat de disseny del vaixell perquè cap armador ni operador del vaixell li interessa, masses pèrdues es generarien.
Millores del conductes comuns	NO	-	-	-	El benefici d'implementar aquesta tecnologia no suposa més d'un 0,5% essent molt optimistes per tant es decideix que no és necessària la inversió, tot i el seu baix cost.
Recuperació del calor residual	NO	-	-	-	El vaixell ja disposa d'un economitzador per tant actualment ja està obtenint beneficis en eficiència energètica.
Bulb en el timó	NO	-	-	-	No es contempla la implementació d'aquesta tecnologia ja s'ha optat per una altra.
Col·locar aletes en l'hèlix	NO	-	-	-	No es contempla la implementació d'aquesta tecnologia ja s'ha optat per una altra.

Hèlix canalitzada	NO	-	-	-	No es contempla la implementació d'aquesta tecnologia ja s'ha optat per una altra.
Hèlix contra-rotant	NO	-	-	-	No es contempla la implementació d'aquesta tecnologia ja s'ha optat per una altra.
Hèlix de rotació lliure	NO	-	-	-	No es contempla la implementació d'aquesta tecnologia ja s'ha optat per una altra.
Sistema Promas Lite o Energopac	SÍ	< 3	Mitjana	20	S'ha contemplat aquesta tecnologia ja que conté tres tecnologies en una pel que respecte en el timó.
Timó no rígido o flexible	SÍ	$4 < x < 15$	Baixa	4	Tecnologia que pot ser fàcilment instal·lat ja que és un complement que la tecnologia Promas Lite permet ser acoblada
Total	-	2,2	Baixa	63%	

Fet l'anàlisi de les mesures energètiques que es poden aplicar en el vaixell Herbania se n'ha extret un total de 5 mesures que poden ser aplicades i aquestes representen un cost d'inversió baix si es realitza la mitjana de les cinc mesures que s'empren. Cal mencionar que en aquest estudi, s'han estimat els millors percentatges de beneficis en concepte de benefici energètic, conseqüentment el benefici que comportaria implementar les cinc mesures mencionades anteriorment suposarien un 63% d'estalvi en consum energètic del vaixell.

Les mesures que no s'han decidit incloure es pot veure en la secció dels comentaris la seva pertinent justificació. Tanmateix l'elecció de la tecnologia Kite de les energies renovables s'ha estimat més oportuna en comparació a les altres dues tecnologies rotors Flettner i veles rígides per dos motius que es justifiquen a continuació:

- El primer d'ells és que és una tecnologia fàcil d'implementar amb un baix cost i els seus beneficis en eficiència energètica són relativament elevats.
- Per altra banda el vaixell té una eslora de dimensions reduïdes és a dir 109,86 metres, fet que condiciona la implementació de tecnologia que afectarà l'estabilitat del propi vaixell i la seva disposició en coberta no és la més idònia per a la instal·lació.

Finalment de l'estudi també se n'extreu diferents connotacions com pot ser la viabilitat de poder fer una inversió baixa/mitjana i es puguin arribar a estalvis en eficiència energètica per sobre del 50% i en un temps d'amortització de mitjana de 4,6 anys, cosa que fa plantejar seriosament el perquè avui dia no s'implementin a la gran majoria de vaixells. Per altra banda l'estudi realitzat ha procurat obtenir un màxim en % en eficiència i a la vegada que suposi un cost assumible per armadors del vaixell.

Finalment s'arriba a la conclusió dels grans impediments en la implementació d'aquestes tecnologies en el factor més determinat mencionat en cada un dels inconvenients de les tecnologies:

Els propietaris són els encarregats d'assumir els costos de la implementació però els que són beneficiats són els operadors del vaixell ja que són ells qui pagant el combustible consumit.

8.2.2 Estudi amb una visió pessimista

Taula 4. Estudi eficiència energètica visió pessimista (Elaboració pròpia)

Mètode o Mesura	Aplica o No	Temps d'amortització [anys]	Inversió	Eficiència [%]	Comentaris
Optimització de la proa	NO	-	-	-	La construcció del vaixell és de l'any 2013, per tant és innecessari el canvi de bulb de proa.
Revestiment del buc	SÍ	< 3	Baixa	1	El vaixell està en operativa durant 7 anys per tant aquesta tecnologia pot ser implementada ja que té una periodicitat de 5 anys.
Lubricació per aire	NO	-	-	-	Ja que aquesta tecnologia només s'implementa per a vaixells de nova construcció.
Millores del conductes comuns (Common Rail)	-	-	-	-	El benefici d'implementar aquesta tecnologia no suposa més d'un 0,1% per tant es decideix que no és necessària la inversió.
Kite	SÍ	< 3	Baixa	5	Els sistema kite és un molt bon sistema a ser implementat ja que la relació entre el cost i el benefici és alt.
Rotors Flettner	NO	-	-	-	És una mesura que té un alt elevat cost i els seu temps d'amortització és superior a 15 anys.
Veles Rígid	NO	-	-	-	És una mesura que té un alt elevat cost i els seu temps d'amortització és superior a 15 anys.
Energia solar	SÍ	$4 < x < 15$	Baixa	5	És una mesura que pot ser instal·lada a bord i ajudarà a subministrar energia els sistemes auxiliars reduint la demanda dels motor aux.
Modificació de la velocitat de disseny	NO	-	-	-	És una mesura que no es contempla la de reduir la velocitat de disseny del vaixell perquè cap armador ni operador del vaixell li interessa, masses pèrdues es generarien.
Millores del conductes comuns (Common Rail)	NO	-	-	-	El benefici d'implementar aquesta tecnologia no suposa més d'un 0,5% essent molt optimistes per tant es decideix que no és necessària la inversió, tot i el seu baix cost.
Recuperació del calor residual	NO	-	-	-	El vaixell ja disposa d'un economitzador per tant actualment ja està obtenint beneficis en eficiència energètica.
Bulb en el timó	NO	-	-	-	No es contempla la implementació d'aquesta tecnologia ja s'ha optat per una altra.
Col·locar aletes en l'hèlix	NO	-	-	-	No es contempla la implementació d'aquesta tecnologia ja s'ha optat per una altra.
Hèlix canalitzada	NO	-	-	-	No es contempla la implementació d'aquesta tecnologia ja s'ha optat per una altra.
Hèlix contra-rotant	NO	-	-	-	No es contempla la implementació d'aquesta tecnologia ja s'ha optat per una altra.
Hèlix de rotació lliure	NO	-	-	-	No es contempla la implementació d'aquesta tecnologia ja s'ha optat per una altra.
Sistema Promas Lite o Energopac	SÍ	< 3	Mitjana	2	S'ha contemplat aquesta tecnologia ja que conté tres tecnologies en una pel que respecte en el timó.
Timó no rígid o flexible	SÍ	$4 < x < 15$	Baixa	2	Tecnologia que pot ser fàcilment instal·lat ja que és un complement que la tecnologia Promas Lite permet ser acoblada
Total	-	7,8	Baixa	15%	

En l'estudi amb una visió més pessimista implementant les mesures seleccionades en l'apartat anterior es denota una considerable diferència la qual és el total d'eficiència energètica, on aquesta només arriba al 15%. Tot i ser probablement les pitjors condicions un possible estalvi del 15% suposen bastants diners i el seu temps d'amortització es localitza en 7,8 anys que podria ser considerat a mig termini.

La manera de calcular la mitjana del temps de la manera més pessimista s'han estimat els temps més grans (3+3+15+3+15) i s'ha realitzat la mitjana aritmètica (7,8 anys), mentre que en l'estudi amb caire optimista s'han estimat els temps més optimistes (1+1+4+1+4) i s'ha realitzat la mitjana aritmètica de (2,2 anys).

Pel que respecte a l'estudi més pessimista es continua obtenint benefici energètic i això té molt bones connotacions però es torna a estar en la mateixa barrera o inconvenient i és el front entre armadors i operadors que suposa que finalment no es portin a terme determinades tecnologies.

En el supòsit d'un balanç entre l'estudi més optimista i el més pessimista els resultats continuen essent molt prometedors. Es realitza la mitjana en termes d'eficiència i als anys d'amortització. Pel que respecte a la inversió aquesta sempre es manté igual ja que no varia el cost si et dona millors rendiments o pitjors.

Seguint amb el supòsit plantejat anteriorment, els resultats en eficiència energètica suposen un 39% és a dir en números rodons, un 40% d'estalvi en consum de combustible. Pel que respecte en el temps d'amortització de la inversió resultaria un termini de 5 anys. Realment són números esfereïdors, teòrics però realment s'estaria estalviant fins a un 40% en el consum de fuel per a la propulsió del vaixell, i el temps en que es recuperaria la inversió feta seria en 5 anys, que en termes de vida general del vaixell és un quart de la seva vida essent pessimistes, o una sisena part de la vida útil del vaixell.

Per concloure aquests dos estudis realitzats, la pregunta a plantejar seria:

Els propietaris dels vaixells i operadors serien capaços d'arribar a un "entente cordiale" que fos beneficiós per ambdues parts per tal d'aconseguir implementar aquestes tecnologies en els vaixells que en l'actualitat es gasten milions d'euros i de dòlars en tantes tones de combustible, que es veurien considerablement reduïdes amb l'aplicació d'algunes mesures determinades.

Capítol 9. La propulsió en clau de futur

9.1 PREFACI

La propulsió en clau de futur es fonamentarà en diferents aspectes a tenir en consideració ja que no depèn d'un únic factor. L'objectiu principal d'aquest capítol és proporcionar informació d'un possible escenari de futur per a la propulsió marina.

En els següents apartats es detallen els principals factors que seran més determinants essent els següents: el volum del transport de mercaderies en el sector naval, futures normatives en reduccions d'emissions com eficiència energètica, el consum del combustible i els sistemes de propulsió.

Finalment es donen unes cites d'experts en el sector opinant sobre quina serà la propulsió en un futur.

9.2 TRANSPORT DE MERCADERIES

En la figura 60, es troba un gràfic evolutiu del transport marítim a nivell mundial en milions de tones per any, la font d'on s'ha extret el gràfic és del director Martin Stopford de l'empresa Clarkson realitzat l'any 2016.

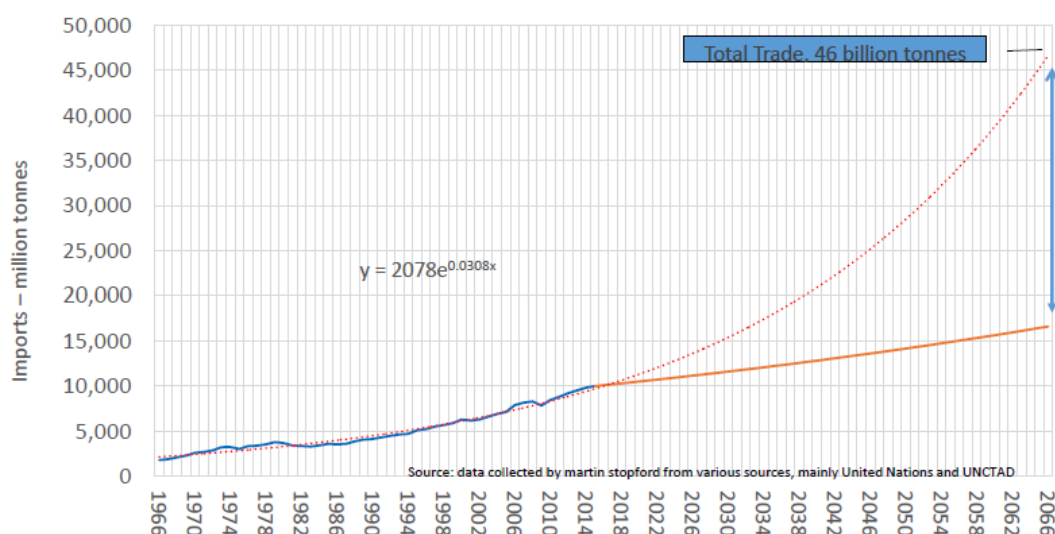


Figura 60. Gràfic Evolutiu: Milions de tones de carga/Any (Martin Stopford 01/12/2016)

Les últimes dades reals introduïdes en el gràfic evolutiu es daten a l'any 2016, arribant a transportar 10.000 milions de tones durant l'any 2016. El gràfic mostra la funció exponencial més similar al comportament de la quantitat de tones transportades des de l'any 1966 fins el 2016 essent $y=2078e^{0,0308x}$. Amb l'equació resultant l'increment de transport de mercaderies en 46 anys es preveu que es superin els 45.000 milions de tones, 4,5 vegades més que les transportades en l'any 2016.

Aquesta visió és segurament la més optimista del sector marítim, però no la més realista. No obstant el consumisme global amb conjunció de l'increment de la població mundial està conduint irremeiablement a consumir cada vegada més, i l'increment de tones transportades pel sector augmentin considerablement. Tot i així, el gràfic mostra una corba més conservadora, probablement més realista i no tant optimista del sector, però tot i aquesta visió més pessimista el creixement continua existint, i s'arribaria a transportar l'any 2066 fins a un total de 16.000 milions de tones. Fet que implica que el sector naval i el seu transport de mercaderies sigui un negoci segur i de futur, amb perspectives de creixement de mercat tot i les visions més escèptiques ja que han de poder satisfer l'increment de la demanda que any rere any el sector pateix.

Per concloure, fer menció que la forta crisi del Covid-19 també ha colpejat de manera forta el sector naval i el transport de mercaderies com pot ser el transport de fuel oils que s'ha vist greument afectada, emprant vaixells com a magatzems flotants per tornar a vendre quan la situació i el mercat es recuperi.

9.3 FUTURES NORMATIVES

És una incertesa que a dia d'avui el sector marítim pateix. Probablement aquest sigui el factor més determinant ja que aquest marcarà la tendència en els consums de combustibles, provocant la desaparició d'alguns fuel oils més pesats o bé s'implementin noves tecnologies que permetin el seu ús ja que les emissions d'aquestes es vegin reduïdes.

Tanmateix avui dia, cada vegada més, s'estan implementant noves zones ECA que comencen entrar en vigor en les costes de la Xina i Corea del Sud i això és un fet constatat. Per tant s'aprecia aquesta tendència en les implementacions en les costes dels països de zones on les emissions estant controlades i regides per una normativa. En un futur de ben segur és la gairebé implementació de les zones ECA per a tots els països o bé en la majoria d'ells.

Pel que respecte a normatives d'eficiència energètica segurament els índex EEDI siguin més estrictes fent reduir encara més les emissions de CO₂ que provenguin dels vaixells. Com tampoc es descarta la implementació de noves tecnologies per mitjà de noves normatives o directives dels propis països.

9.4 CONSUM DE COMBUSTIBLE

Un cop vistes les perspectives de creixement que tindrà el sector independentment de la visió en que es vulgui interpretar en el futur, el consum del combustible és evident que incrementarà considerablement.

Esbrinar el combustible del futur és probablement més complex, degut a les incerteses que depara el sector sobretot pel que respecte a futures restriccions que es puguin trobar o simplement el desenvolupament de noves tecnologies que substituïran de manera radical els fuel oils.

Segons l'estudi realitzat per la Lloyd's Register Marine i la University College of London, Global Marine Fuel Trends 2030 indica que la previsió a curt termini sigui l'increment del consum de combustibles derivats del fuel oil, arribant a doblar si més no les xifres obtingudes respecte la predicció realitzada el 2014 respecte a la del 2015.

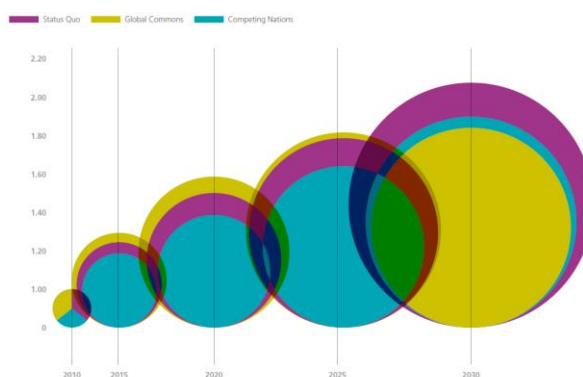


Figura 61. Gràfic evolutiu del consum de combustibles (Global marine fuel trends 2030)

La demanda de HFO (Rosa) en els tres escenaris plantejats segons l'estudi realitzat, preveu un augment en tots els escenaris fins el 2025 i en un dels supòsits la demanda caurà a nivells iguals que els del 2010.

Encara que la demanada d'altres combustibles augmentarà com poden ser el casos de Marine Dièsel Oil i Marine Gas Oil (Blau fluix) que en un dels millors escenaris podria arribar a suposar una demanda al voltant del 50%. Mentre que el consum de LNG (Verd) es veurà lleugerament incrementat fins un màxim de l'11% respecte el total en un dels possibles escenaris.

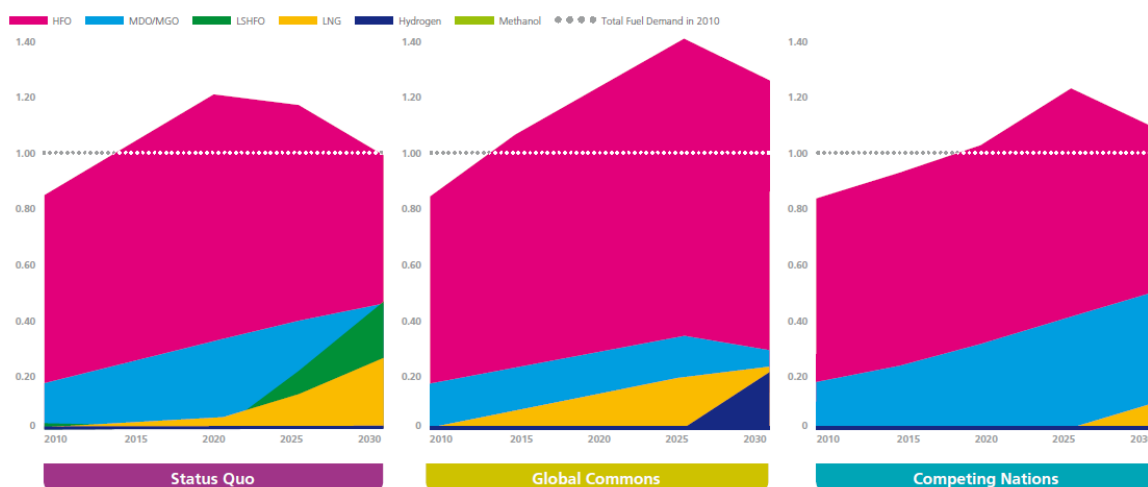


Figura 62. Gràfic evolutiu fins 2030 del tipus de combustible (Global marine fuel trends 2030)

9.5 SISTEMA DE PROPULSIÓ

9.5.1 Visió a curt termini

El sistema propulsiu per excel·lència que avui predomina el sector naval són els motors de dos temps ja que són els que et proporcionen el millor índex en consum específic del motor, com ja s'ha mencionat en capítols anteriors.

Un cop analitzades les alternatives que avui dia són viables per a portar a terme cap d'elles pot substituir aquest mètode de propulsió per a vaixells mercants del tipus cisterna o bé càrrega a granel. Pel que respecte a vaixells com creuers o ferris han trobat sistemes que milloren de forma considerable la seva maniobrabilitat i redueixen el consum de combustible amb les propulsions tipus Azipod amb la propulsió totalment elèctrica evitant sales de màquines grans i els eixos.

Per altra banda està la propulsió híbrida que proporciona estalvis en eficiència energètica i compleixen amb les normatives de reduccions d'emissions i poden operar en zones ECA gràcies a la propulsió completament elèctrica.

Finalment no es pot depreciar el clar augment que el sistema de propulsió mitjançant LNG està tenint en l'actualitat i la seva tendència a l'alça, però no s'ha d'obviar el cost del procés de modernització com tampoc la compra de motors dual fuel o motors que únicament cremin LNG.

9.5.2 Visió entre mig i llarg termini

Les tecnologies vistes en el capítol 5 són si més no esperançadores per un futur on es vulgui arribar a la propulsió marina sense emissions. En l'actualitat sembla una utopia, però la investigació d'aquestes fonts d'energia poden suposar un canvi radical en la manera com avui s'entén la propulsió marina.

En primer lloc les energies renovables tant eòliques com solars no tenen la capacitat de generar la suficient energia per a poder satisfer les demandes de càrrega dels vaixells, i en l'actualitat s'estan implementant com a tecnologies per a la millora en eficiència energètica dels propis. No obstant, per a vaixells de dimensions reduïdes estant obtenint beneficis considerables i en un futur amb investigacions al darrere potser seran capaces de generar la propulsió principal de vaixells de rutes curtes i dimensions reduïdes.

Els biocombustibles no mostren el rendiment esperat en l'actualitat i fer el canvi per als fuels oils suposa una pèrdua en l'eficiència del motor que no es poden permetre els operadors dels vaixells.

Tanmateix l'èter de dimetil presenta molt bones condicions per a ser un substitut però encara ha de superar moltes carències que presenta sobretot en el seu emmagatzematge i corrosions en el motor.

Les tecnologies que procedeixen com són les bateries i les piles de combustible, que comparteixen principi de funcionament avui dia encara està lluny les seves aplicacions en la propulsió principal del vaixell ja que aquestes encara estant molt limitades pel que respecta a les carències tècniques que avui estant mostrant i que aquestes haurien de passar més fases d'investigacions per a poder ser millorades.

Per concloure les tecnologies que empren hidrogen, amoníac o nitrogen líquid amb aire comprimit avui dia estan en fase d'investigació i no deixen de ser teories que encara no s'han provat i demostrat. Els handicaps més grans per aquestes combustibles són les d'emmagatzematge i operatives d'obtenció sobretot pel que respecte a l'hidrogen ja que aquest normalment no es troba l'element per separat i es requereix d'un procés d'obtenció. Necessiten d'un estudi i un aprofundiment pel que respecte els tres tipus de combustibles per a poder ser implementats correctament a bord i superar les principals barreres que avui dia es troben i es mencionen en cada un dels subapartats del capítol 5.

9.6 OPINIONS D'EXPERTS EN EL SECTOR NAVAL

Les opinions que es mostraran a continuació han estat preguntades per Leah Kinthaert per a la revista Lloyd's List Magazine. La pregunta en qüestió és: "Quina serà la propulsió dels vaixells al 2050?". Les respostes dels experts es mostren en versió original ja que l'autor no pretén edulcorar el missatge quedant més fidedignes les respostes. Tanmateix mencionar que l'autor ha seleccionat tres respostes, en cas de voler obtenir més respostes vegeu []

Dr. Nishatabbas Rehmatulla (Associat en recerca de la University College London Energy Institute)

"The answer to your question will depend mostly on what happens in the policies for decarbonisation in shipping — the current state of policies and economics alone may not justify more use of alternative sources of energy. The take up and growth of various alternative energy sources will differ depending on the ambition of the policies, for example the price of carbon. At the lower end of the scale, we might see the increased take-up wind technologies, such as Flettner rotors, and on the higher end of the scale we can even see the take-up of hydrogen and fuel cells."

Katharine Palmer (Directora ambiental de la Lloyd's Register)

“Given the need for the shipping sector to decarbonise on a trajectory aligned with the rest of the economy, we would expect to see growth in low-carbon energy sources such as batteries, hydrogen, biofuels and renewables. Our experience shows there are practical applications of innovations in these energy sources occurring in niche sectors of shipping, primarily tug, ferry and shortsea shipping. The key is to scale these energy sources to enable viable alternatives for different shipping sectors, and it's important to remember that based on ship type, operating profile and flexibility viability will mean different things to different sectors.”

Dr. Kirsi Tikka (Vicepresidenta executiva de Global Marine - ABS)

“Current efforts to reduce carbon emissions are driving changes that we believe will deliver significant emissions reductions in the shipping industry by 2050. Liquefied natural gas will continue to play an important role as an alternative to conventional fuel oil for many years, but it is not the final solution in a decarbonised world. New sources, including wind, solar, biofuels, hydrogen fuel cells and other novel concepts will continue to emerge as the industry moves toward achieving the goal of low to zero emissions.

“Given the recent advancements in hydrogen fuel cells and wind technologies, I think much of the growth will likely come from these sources. Much work is still needed, however, to make them cost-effective and fit for purpose. At ABS, we are already on this journey with industry. One recent project with industry and government stakeholders focused on proving the feasibility of a high-speed ferry, the SF Breeze, powered entirely by hydrogen fuel cells. As a technology leader, ABS is always looking ahead to anticipate industry's needs and working alongside our clients to help prove new and innovative concepts that will promote a safer and more sustainable shipping industry.”

Capítol 10. Conclusions

L'estudi de les energies alternatives al sistema de propulsió convencional té com a primer objectiu mostrar l'ampli ventall que el sector naval té en la generació d'energia per a la propulsió dels vaixells. Tanmateix demostrar que cap dels sistemes denominats convencionals que avui dia s'està utilitzant no mostri inconvenients, cada un d'ells per més diferent o similar que sigui mostres inconvenients importants que han de ser considerats. Pel que respecte als sistemes menys habituals, cada vegada estant més en desús a excepció dels sistemes híbrids que empren la barreja entre dos tipus de tecnologies per a la propulsió.

Una altra conclusió que es pot extreure és que la situació del mercat no és bona pel gran impacte que ha ocasionat el Covid-19 tot i els creixements continus que havia obtingut any rere any el sector de transport de mercaderies.

L'estudi mostra una incertesa a clau de futur que fa plantejar-se diferents factors com a determinants els quals difuminaran el futur del sector en funció com es desenvolupin. Els factors plantejats i argumentats són la necessitat del canvi dels combustibles fòssils cap a un nou tipus de combustible o bé tecnologia. Un altre factor determinant són les normatives, cada vegada més estrictes i limitant el consum dels combustibles per a que tinguin menys contingut en sofre o es redueixin tant les emissions de CO_2 com de NO_x .

Una conclusió més a extreure és la inviabilitat de les possibles energies alternatives a les convencionals plantejades es puguin dur a terme avui dia. Moltes d'elles encara en fases d'investigació que per ara semblen utòpiques amb les tecnologies que es disposen. Tampoc ajuda que el sector de la marina mercant sigui bastant conservador, cosa que genera que la propulsió no hagi evolucionat des de fa més de 50 anys.

Degut a que avui no hi ha tecnologies que no puguin superar als motors dièsel o bé turbines de vapor o gas en la propulsió s'han hagut d'emprendre mesures tecnològiques per a la reducció d'emissions de

diòxid de carboni, òxids de sofre i òxids de nitrogen que afecten greument a l'escalfament global produït per l'efecte hivernacle. Aquestes emissions són molt perjudicials i contribueixen a l'efecte hivernacles però s'estima que el sector només representi un 3% respecte al total.

Existeixen una multitud de tecnologies per a poder ser implementades en els vaixells per tal de millorar l'eficiència energètica però el major inconvenient és que no es porten a terme perquè existeix una divisió d'opinió entre els armadors i els propis operadors dels vaixells, ja que els costos de la instal·lació de la tecnologia aniria a càrrec dels propietaris mentre que els beneficis en eficiència energètica els gaudirien els operadors del vaixell, consumint menys combustible, que és el que paguen els operadors del vaixell.

Per altra banda en l'estudi realitzat les dades obtingudes han sigut esperançadores es miri des de la vessant més pessimista com optimista ja que per una inversió baixa s'obtindrien beneficis entre el 15 i el 63% en temps d'amortització entre els 2,2 i 7,8 anys. Dades molt satisfactòries que haurien de poder a ser realitats si no hi hagués aquesta divisió entre propietaris i operadors dels vaixells.

Finalment en el capítol últim, en el número 9, es detalla un recull d'informació de gran interès on també s'extreuen conclusions i es dona una visió a partir de diverses fonts que es poden trobar en la bibliografia que pot ajudar a aclarir els dubtes de quina serà la propulsió del futur.

Bibliografia

La bibliografia està organitzada en funció de si la informació ha sigut extreta d'una pàgina web o bé de documents que es poden descarregar, ja siguin informes, estudis, manuals, normatives, entre altres. Tanmateix s'ha ordenat per ordre de consulta.

- [1] Apunts Motors de Combustió Interna 280655
- [2] Studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping - IMO
- [3] An introduction to bunkering - Nigel Draffin
- [4] Everything you need to know about marine fuels - Gobal Marine Products - 2008 Chevron Products Company, San Ramon, CA. All rights reserved. All trademarks are the property of Chevron Intellectual Property LLC
- [5] Biocombustibles: tipos y estrategias de producción. Maria Dolores Cortés-Sánchez, Esperanza Macarena Gata-Montero, Andrea Pipió-Ternero, Álvaro Rodríguez-Rivas y Juan Manuel Sánchez-Santos.
- [6] COHEN, H.; ROGERS, G.F.C. y SARAVANAMUTTOO, H.I.H. "Teoría de las Turbinas de Gas". Marcombo S.A. Barcelona, 1983
- [7] Apunts Transports Especials 280657
- [8] Apunts Turbomàquines Marines i Generadors de Vapor 280654
- [9] Global Marine Fuel Trends 2030 - Lloyd's Register
- [10] Specifications guide Global bunker fuels - S&P Global Platts
- [11] Electrical systems in pod propulsion - Lena Bergh Ulrika Helldén
- [12] Diesel-electric Propulsion Plants - Man
- [13] Azipod® XO2100 and XO2300 - ABB Doc. no. 3AFV6016618 rev. C / July 3rd, 2012
- [14] Apunts de Propulsors 280652
- [15] Design and Comparative Analysis of Small Modular Reactors for Nuclear Marine Propulsion of a Ship
- [16] Steam Turbines and boilers - Learning resources based on authentic materials

- [17] Options and evaluations on propulsion Systems of LNG carriers
- [18] Future Ship Powering Options Exploring alternative methods of ship propulsion - Royal Academy Engineering
- [19] Marine fuel fact - Concawe
- [20] Apunts de Prevenció de la Contaminació i Sostenibilitat 280649
- [21] Apunts de Legislació Marítima 280651
- [22] First IMO GHG Study 2000 MEPC 45/8 - IMO
- [23] Second IMO GHG Study 2009 MEPC 59/4/7 - IMO
- [24] Third IMO Greenhouse Gas Study 2014- IMO
- [25] The 2020 global sulphur limit - IMO
- [26] Pre-Notification for Korea ECA - Eastern Shipping Co. Ltd
- [27] MEPC.245(66) 2014 GUIDELINES ON THE METHOD OF CALCULATION OF THE ATTAINED ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX (EEDI) FOR NEW SHIPS - IMO
- [28] MEPC 282 (70) 2016 GUIDELINES FOR THE DEVELOPMENT OF A SHIP ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT PLAN (SEEMP) - IMO
- [29] MEPC.1/Circ .684 GUIDELINES FOR VOLUNTARY USE OF THE SHIP ENERGY EFFICIENCY OPERATIONAL INDICATOR (EEOI) - IMO
- [30] Guidelines for the safe application of fuel cell systems on ships - Germanischer Lloyd
- [31] Study on the use of fuel cells in shipping - EMSA
- [32] Marine propulsion using battery power - Department of Mechanical Engineering, University College London, London WC1E
- [33] Batteries on board ocean-going vessels - MAN
- [34] Ammonia as Marine Fuel - NH3 Fuel Conference – Maritime Panel Discussion
- [35] Propulsión Magnetohidrodinámica para Embarcaciones - CITE Energia
- [36] Zaman, M & Hyung Lee, Jay; 2013; Carbon capture from stationary power generation sources: A review of the current status of the technologies. Korean Journal of Chemical Engineering
- [37] Study on energy efficiency technologies for ships - European Commission - CLIMA.B3/ETU/2014/0023r
Written by Rob Winkel, Arno van den Bos & Ulf Weddige June – 2015
- [38] Promas Lite - Rolls Royce
- [39] Discussion of Marine Stirling Engine Systems - Koichi HIRATA and Masakuni KAWADA
- [40] RENEWABLE ENERGY OPTIONS FOR SHIPPING - International Renewable Energy Agency IRENA

Pàgines web

- [41] <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/d/diesel.htm> (01/06/2020)
- [42] <https://www.crownoil.co.uk/guides/bunker-fuel-guide/> (03/06/2020)
- [43] <http://tecnologia-maritima.blogspot.com/2017/05/turbinas-de-gas-aeroderivadas-para-la.html> (04/06/2020)
- [44] <http://www.targettrainingcentre.nl/news/special/> (04/06/2020)
- [45] <http://www.bergermaritiem.nl/hybridshippropulsion> (05/06/2020)
- [46] <https://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/transport/nuclear-powered-ships.aspx> (07/06/2020)
- [47] <https://www.lr21.com.uy/mundo/1184802-la-compania-british-petroleum-anuncia-que-el-petroleo-se-acabara-en-el-ano-2067> (15/06/2020)
- [48] <http://www.imo.org/en/pages/default.aspx> (17/06/2020)
- [49] [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93Regulation-13.aspx) (18/06/2020)
- [50] [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Emission-Control-Areas-\(ECAs\)-designated-under-regulation-13-of-MARPOL-Annex-VI-\(NOx-emission-control\).aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Emission-Control-Areas-(ECAs)-designated-under-regulation-13-of-MARPOL-Annex-VI-(NOx-emission-control).aspx) (19/06/2020)
- [51] <https://www.dnvgl.com/news/a-new-eca-and-speed-reduction-limits-in-south-korean-ports-173622> (20/06/2020)
- [52] <https://www.dnvgl.com/news/update-on-emissions-to-air-regulations-for-ships-operating-in-chinese-coastal-waters-135617> (20/06/2020)
- [53] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32012L0033> (20/06/2020)
- [54] <https://www.naucher.com/actualidad/los-ingenieros-navales-exploran-las-posibilidades-del-dihidrogeno-en-el-sector-maritimo/> (21/06/2020)
- [55] <https://c-job.com/ammonia-as-ships-fuel-c-jobs-future-proof-way-of-thinking/> (21/06/2020)
- [56] <http://www.filtrosdiesel.cl/reduccion-catalitica-selectiva-scr> (24/06/2020)
- [57] <https://www3.epa.gov/ttn/catc1/dir2/fsncrs.pdf> (24/06/2020)
- [58] <https://condorchem.com/es/lavadores-de-gases-scrubbers/> (25/06/2020)
- [59] <https://www.americancoalcouncil.org/page/nox/NOx-Reduction-Technologies.htm> (25/06/2020)
- [60] <https://meproduction.com/front-page/marine-scrubbers/> (25/06/2020)
- [61] <https://www.wartsila.com/marine/build/propulsors-and-gears/rudders/wartsila-energopac> (26/06/2020)

- [62] <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL109256/What-will-power-shipping-in-2050>
(29/06/2020)

Annex 1. Informació detallada de combustibles marins

Taula A 5 Taula de Combustibles Residuals

Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F										Test method reference	
			RMA 30	RMB 30	RMD 80	RME 180	RMF 180	RMG 380	RMH 380	RMK 380	RMH 700	RMK 700		
Density at 15°C	kg/m³	max.	960.0	975.0	980.0	991.0		991.0		1010.0	991.0	1010.0	ISO 3675 or ISO 12185 (see also 7.1)	
Kinematic viscosity at 50°C	mm²/s ^a	max.	30.0		80.0	180.0		380.0		700.0			ISO 3104	
Flash point	°C	min.	60		60	60		60		60			ISO 2719 (see also 7.2)	
Pour point (upper) ^b	°C	max.	0	24	30	30		30		30			ISO 3016	
- winter quality	°C	max.	6	24	30	30		30		30			ISO 3016	
Carbon residue	% (m/m)	max.	10		14	15	20	18	22		22		ISO 10370	
Ash	% (m/m)	max.	0.10		0.10	0.10	0.15	0.15		0.15			ISO 6245	
Water	% (V/V)	max.	0.5		0.5	0.5		0.5		0.5			ISO 3733	
Sulfur ^c	% (m/m)	max.	3.50		4.00	4.50		4.50		4.50			ISO 8754 or ISO 14596 (see also 7.3)	
Vanadium	mg/kg	max.	150		350	200	500	300	600		600		ISO 14597 or IP 501 or IP 470 (see 7.8)	
Total sediment potential	% (m/m)	max.	0.10		0.10	0.10		0.10		0.10			ISO 10307-2 (see 7.6)	
Aluminium plus silicon	mg/kg	max.	80		80	80		80		80			ISO 10478 or IP 501 or IP 470 (see 7.9)	
Used lubricating oil (ULO)	mg/kg	max.	The fuel shall be free of ULO ^d										IP 501 or IP 470 (see 7.7)	
- Zinc		max.												15
- Phosphorus		max.												15
- Calcium		max.												30

Taula A 6 Taula de Combustibles Destil·lats

Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F				Test method reference
			DMX	DMA	DMB	DMC ^a	
Density at 15°C	kg/m ³	max.	–	890.0	900.0	920.0	ISO 3675 or ISO 12185 (see also 7.1)
Viscosity at 40°C	mm ² /s ^b	min. max.	1.40 5.50	1.50 6.00	– 11.0	– 14.0	ISO 3104 ISO 3104
Flash point	°C	min. min.	– 43	60 –	60 –	60 –	ISO 2719 (see also 7.2)
Pour point (upper) ^c – winter quality – summer quality	°C	max. max.	– –	–6 0	0 6	0 6	ISO 3016 ISO 3016
Cloud point	°C	max.	–16	–	–	–	ISO 3015
Sulfur ^c	% (m/m)	max.	1.00	1.50	2.00 ^e	2.00 ^e	ISO 8754 or ISO 14596 (see also 7.3)
Cetane index	–	min.	45	40	35	–	ISO 4264
Carbon residue on 10% (V/V) distillation bottoms	% (m/m)	max.	0.30	0.30	–	–	ISO 10370
Carbon residue	% (m/m)	max.	–	–	0.30	2.50	ISO 10370
Ash % (m/m)	% (m/m)	max.	0.01	0.01	0.01	0.05	ISO 6245
Appearance ^f	–	–	Clear and bright			–	See 7.4 and 7.5
Total sediment, existent	% (m/m)	max.	–	–	0.10 ^f	0.10	ISO 10307-1 (see 7.5)
Water	% (V/V)	max.	–	–	0.3 ^f	0.3	ISO 3733
Vanadium	mg/kg	max.	–	–	–	100	ISO 14597 or IP 501 or IP 470 (see 7.8)
Aluminium plus silicon	mg/kg	max.	–	–	–	25	ISO 10478 or IP 501 or IP 470 (see 7.9)
Used lubricating oil (ULO) – Zinc – Phosphorus – Calcium	mg/kg mg/kg mg/kg	max. max. max.	– – –	– – –	– – –	The fuel shall be free of ULO ^g 15 15 30	IP 501 or IP 470 IP 501 or IP 500 IP 501 or IP 470 (see 7.7)

Annex 2. Combinació de sistemes propulsius

- CODLAG Combinació de Dièsel Elèctric i Turbina de Gas
- CODAG Combinació de Dièsel i Turbina de Gas
- CODOG Combinació de Dièsel o Turbina de Gas
- COSAG Combinació de Vapor y Turbina de Gas
- COGAG Combinació de Turbina de Gas i Turbina de Gas
- COGOG Combinació de Turbina de Gas o Turbina de Gas
- COGES Combinació de Turbina de Gas i Motor Elèctric

Figura A2 63. Sistema CODLAG Combinació de Dièsel Elèctric i Turbina de Gas (Viquipèdia)

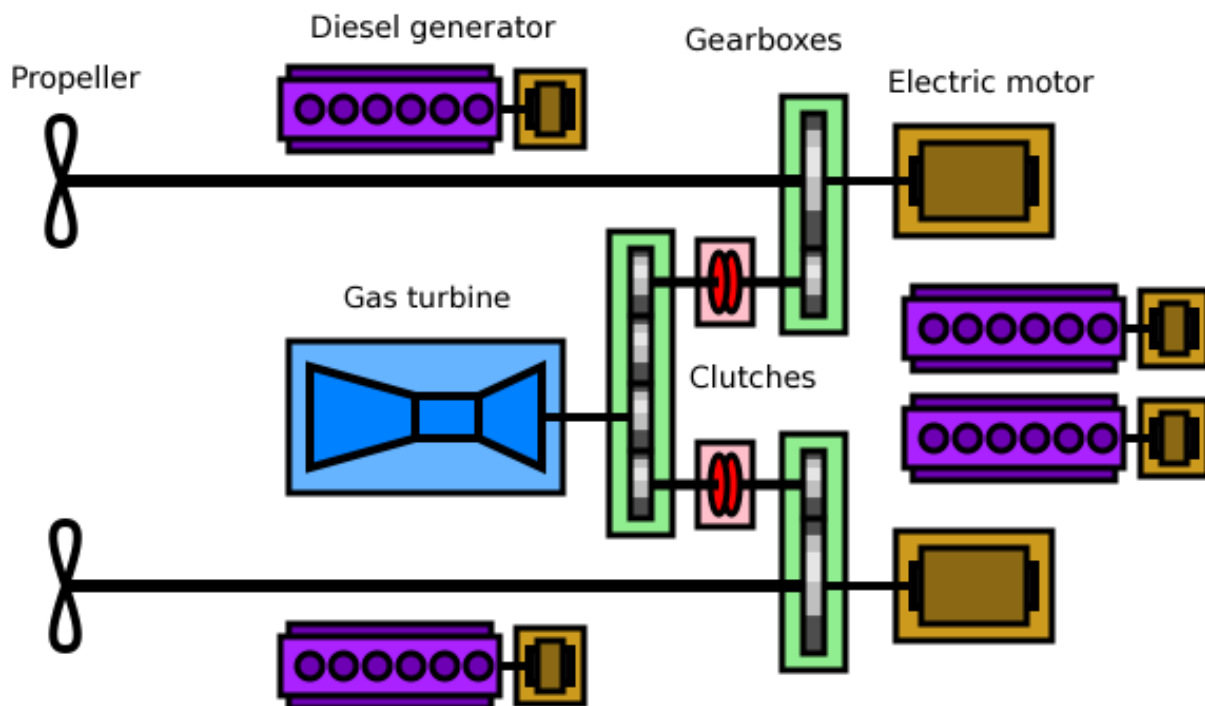


Figura A2 64. Sistema CODAG Combinació de Dièsel i Turbina de Gas (Viquipèdia)

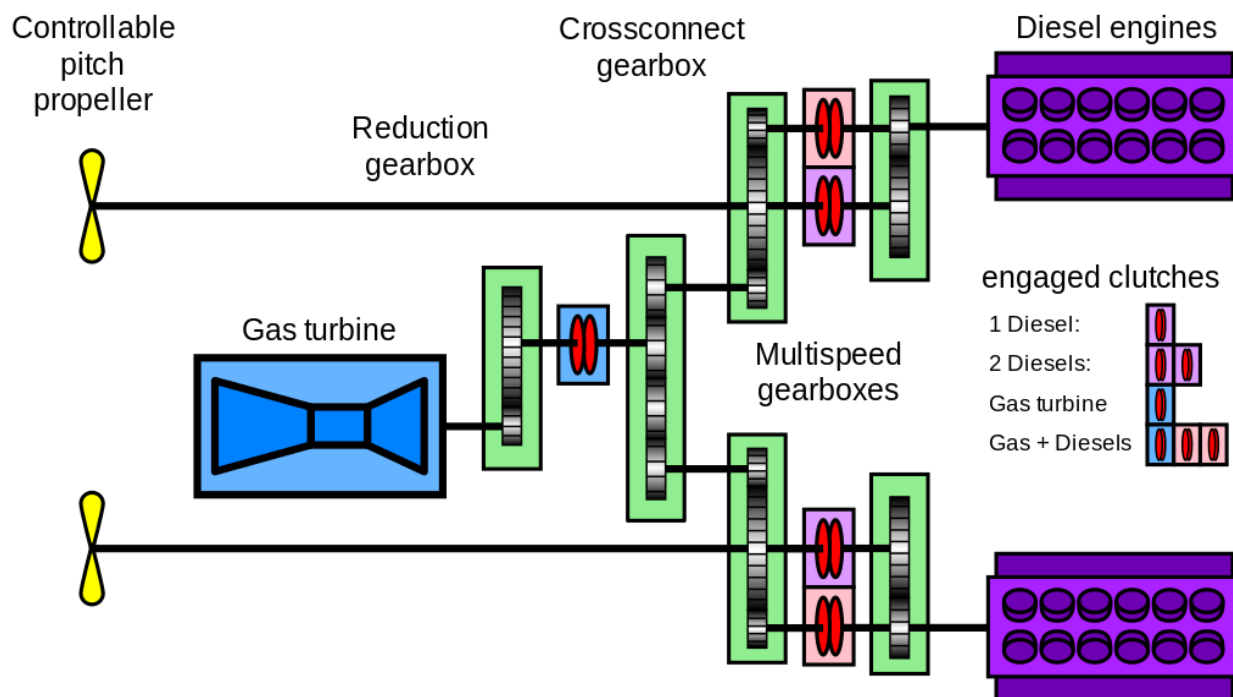


Figura A2 65. Sistema CODOG Combinació de Dièsel o Turbina de Gas (Viquipèdia)

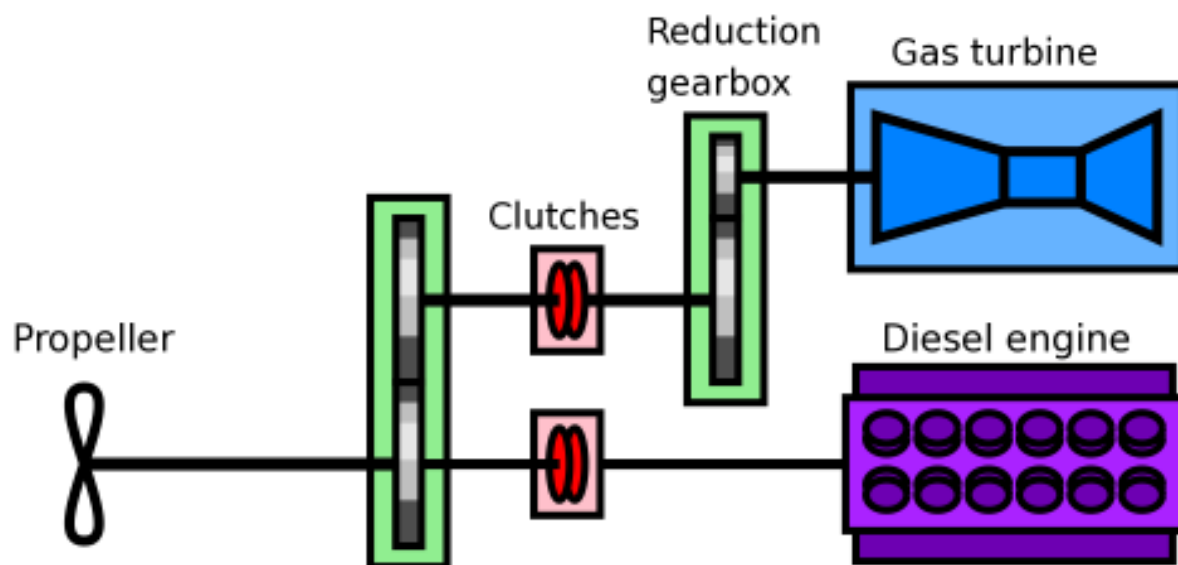


Figura A2 66. Sistema COSAG Combinació de Vapor y Turbina de Gas (Viquipèdia)

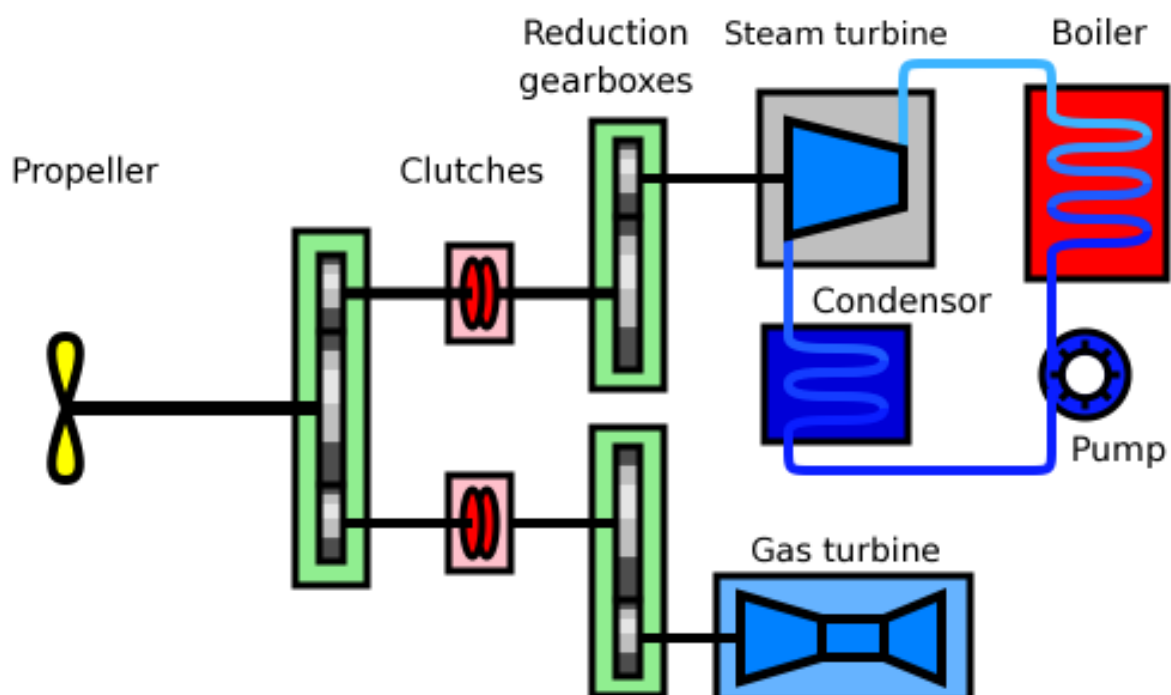


Figura A2 67. Sistema COGAG Combinació de Turbina de Gas i Turbina de Gas (Viquipèdia)

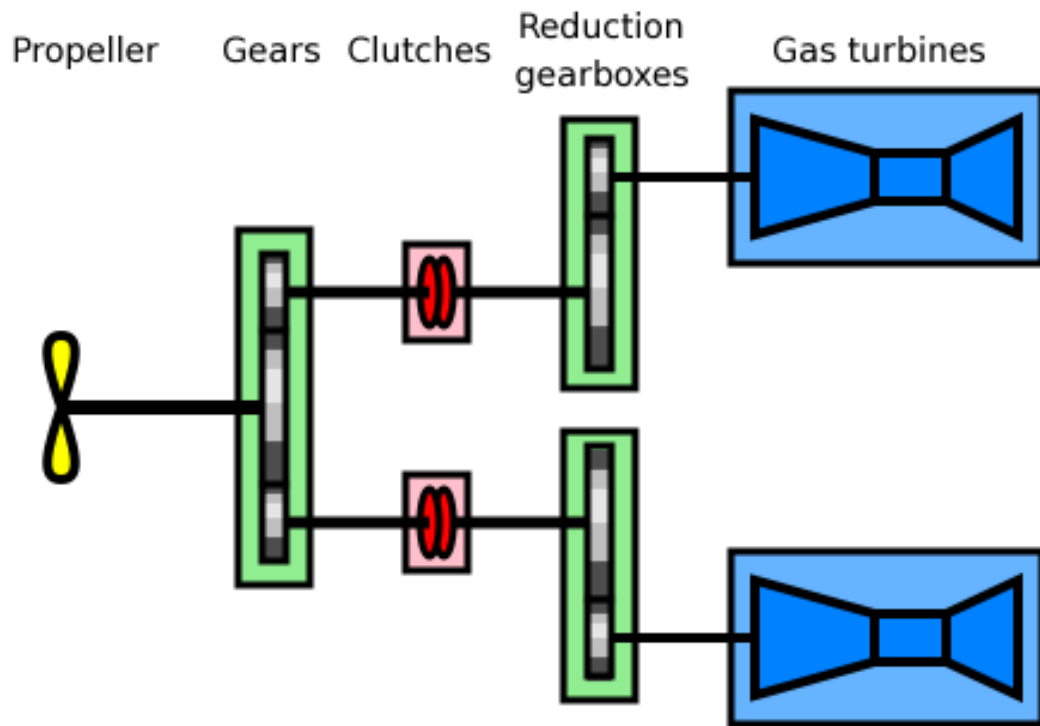


Figura A2 68. Sistema COGOG Combinació de Turbina de Gas o Turbina de Gas (Viquipèdia)

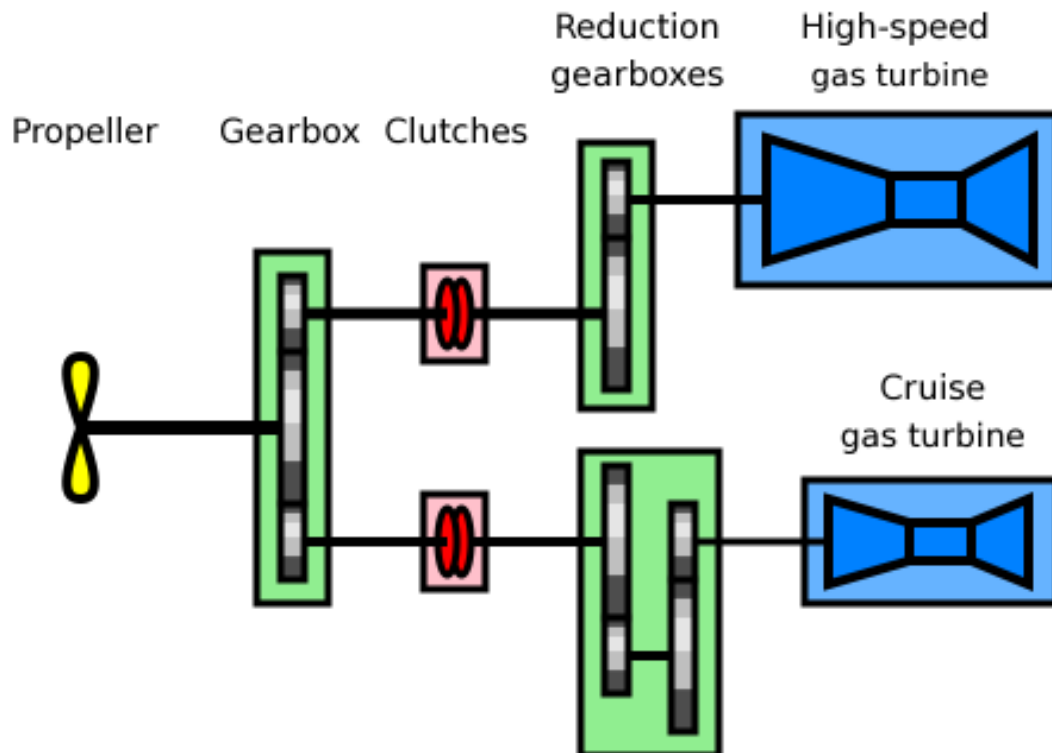
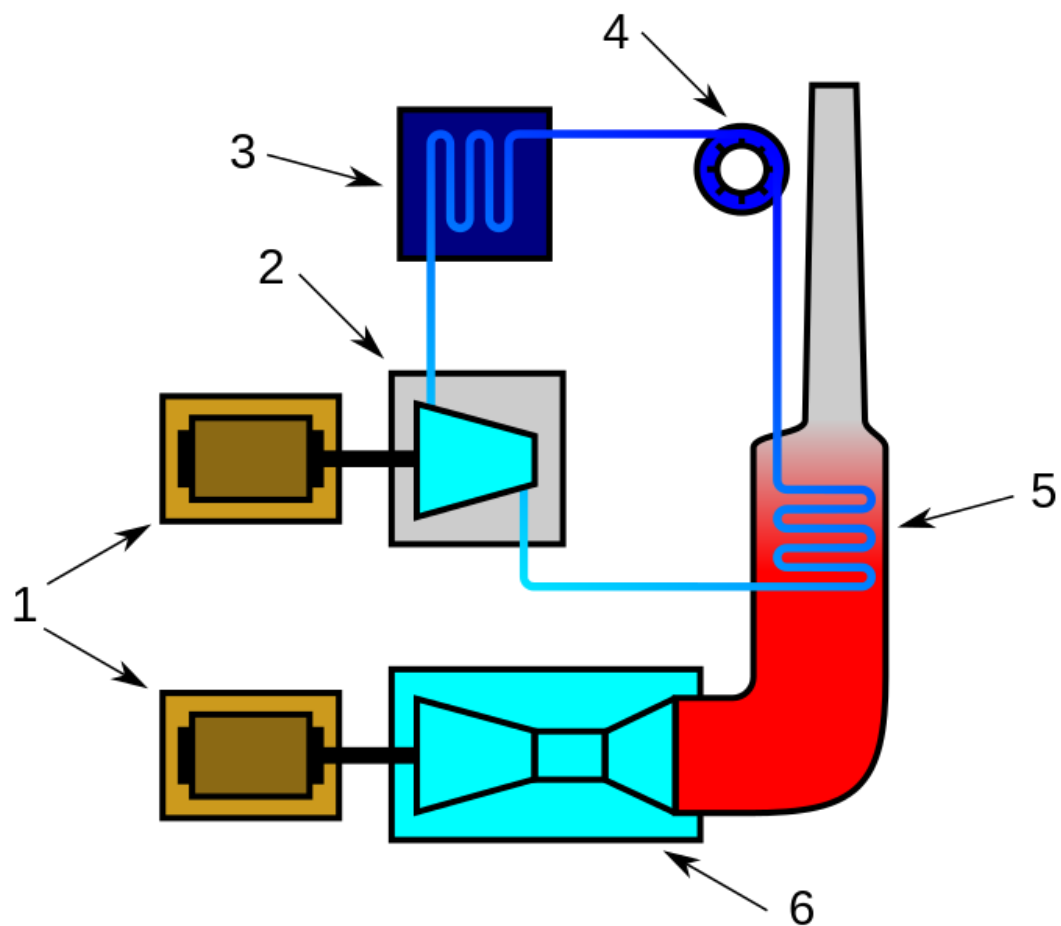


Figura A2 69. Sistema COGES Combinació de Turbina de Gas i Motor Elèctric (Viquipèdia)



Annex 3. Exemple d'un SEEMP

Figura A3 70. Exemple de SEEMP Part I (MEPC 282 (70))

SAMPLE FORM OF SHIP MANAGEMENT PLAN TO IMPROVE ENERGY EFFICIENCY (PART I OF THE SEEMP)

Name of ship:		Gross tonnage:	
Ship type:		Capacity:	
Date of development:		Developed by:	
Implementation period:	From: Until:	Implemented by:	
Planned date of next evaluation:			

1 MEASURES

Energy efficiency measures	Implementation (including the starting date)	Responsible personnel
Weather routing	<Example> Contracted with (Service providers) to use their weather routing system and start using on trial basis as of 1 July 2012.	<Example> The master is responsible for selecting the optimum route based on the information provided by (Service providers).
Speed optimization	While the design speed (85% MCR) is 19.0 kt, the maximum speed is set at 17.0 kt as of 1 July 2012.	The master is responsible for keeping the ship's speed. The log-book entry should be checked every day.

2 MONITORING

Description of monitoring tools

3 GOAL

Measurable goals

4 EVALUATION

Procedures of evaluation

Figura A3 71. Exemple de SEEMP Part II (MEPC 282 (70))

**SAMPLE FORM OF SHIP FUEL OIL CONSUMPTION DATA COLLECTION PLAN
(PART II OF THE SEEMP)**

1 Ship particulars

Name of ship	
IMO number	
Company	
Flag	
Ship type	
Gross tonnage	
NT	
DWT	
EEDI (if applicable)	
Ice class	

2 Record of revision of Fuel Oil Consumption Data Collection Plan

Date of revision	Revised provision

3 Ship engines and other fuel oil consumers and fuel oil types used

	Engines or other fuel oil consumers	Power	Fuel oil types
1	Type/model of main engine	(kW)	
2	Type/model of auxiliary engine	(kW)	
3	Boiler	(...)	
4	Inert gas generator	(...)	

4 Emission factor

C_F is a non-dimensional conversion factor between fuel oil consumption and CO₂ emission in the 2014 Guidelines on the method of calculation of the attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships (resolution MEPC.245(66)), as amended. The annual total amount of CO₂ is calculated by multiplying annual fuel oil consumption and C_F for the type of fuel.

Fuel oil Type	C_F (t-CO ₂ / t-Fuel)
Diesel/Gas oil (e.g. ISO 8217 grades DMX through DMB)	3.206
Light fuel oil (LFO) (e.g. ISO 8217 grades RMA through RMD)	3.151
Heavy fuel oil (HFO) (e.g. ISO 8217 grades RME through RMK)	3.114
Liquefied petroleum gas (LPG) (Propane)	3.000
Liquefied petroleum gas (LPG) (Butane)	3.030
Liquefied natural gas (LNG)	2.750

Figura A3 72. 2n Exemple de SEEMP Part II (MEPC 282 (70))

Fuel oil Type	C_F (t-CO ₂ / t-Fuel)
Methanol	1.375
Ethanol	1.913
Other (.....)	

5 Method to measure fuel oil consumption

The applied method for measurement for this ship is given below. The description explains the procedure for measuring data and calculating annual values, measurement equipment involved, etc.

Method	Description

6 Method to measure distance travelled

Description

7 Method to measure hours underway

Description

8 Processes that will be used to report the data to the Administration

Description

9 Data quality

Description

Estudi de la viabilitat energètica de sistemes de propulsió marins alternatius als convencionals

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:

Jordi Canyet i Quintana

Dirigit per:

Santiago Ordás Jimenez

Doble titulació de Grau en Tecnologies Marines i Grau en Enginyeria en
Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, 2 de maig del 2020

Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques